



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

### ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND  
VEHICLE ASSESSMENT

## DEGRADACE LAKOVANÝCH DÍLŮ V DŮSLEDKU PŮSOBENÍ CHEMICKÝCH SLOUČENIN

DEGRADATION OF PAINTED COMPONENTS DUE TO CHEMICAL COMPOUNDS EXPOSURE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Vodák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Stanislav Tokař, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Vodák**  
Studijní program: Expertní inženýrství v dopravě  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Stanislav Tokař, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21  
Ústav: Odbor znalectví ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Degradace lakovaných dílů v důsledku působení chemických sloučenin

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce bude analýza vlivu působení různých chemických sloučenin na vlastnosti laku karoserie vozidel v závislosti na době působení. Vlastní měření se zaměří na vlastnosti laku, zda dochází k jeho úbytku, nebo se jinak zhoršuje jeho kvalita.

### Cíle diplomové práce:

1. Úvést přehledně dnes běžně dostupné metody lakování. Provést rešerži týkající se degradace lakovaných dílů.
2. Naplánovat a realizovat vlastní experiment.
3. Vyhodnotit dosažené výsledky a učinit závěry se zaměřením na využití v soudně-inženýrské praxi.

### Seznam doporučené literatury:

Literatura zaměřená na autoopravárenství - lakování povrchu karoserií.

Vědecké databáze.

Internet.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

prof. Ing. Karel Pospíšil, Ph.D., LL.M.  
ředitel



## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou míry degradace lakovaných dílů vozidla v důsledku působení chemických sloučenin po předem stanovených časových intervalech. První část je zaměřena na rešerši povrchových úprav karoserie vozidel – chemická předúprava a samotné lakování. Následně jsou zmíněny i běžně používané laky v automobilovém průmyslu. Kromě klasického mokrého lakování je věnována pozornost i práškovému lakování, které prodělalo velký vývoj a díky vysoké míře opakovatelnosti lakovacích parametrů, neustále zvyšuje svoje zastoupení v automobilovém průmyslu. V praktické části je zkoumán vliv 7 chemických látek (benzín, motorová nafta, močovina (AdBlue), kapalina do ostřikovačů, solný roztok, Coca-cola a 51% alkohol), se kterými může lakovaný povrch vozidla přijít při zcela běžném provozu do kontaktu. Jako vzorek posloužily dvě přední kapoty, kdy jedna byla v interiéru a druhá pod přístřeším venku. Při dlouhodobém působení těchto látek se snižovala tloušťka laku, která byla pravidelně měřena, aby se zjistila degradace laku v závislosti na čase působení sloučenin. Z těchto výsledků bylo možné určit, která látka a po jaké době trvale poškozovala lak karoserie vozidel.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with level of degradation of coating layers of car body by contact with chemicals in agreed time periods. First part is focused on surface pre-treatment and coating process in automotive industry. Description of coating materials is following. The last point of first part is focused on alternative coating technology – powder coating what is raising in customers' focuses because of higher repeatability of powder cloud. The experiment is focused on coating degradation influenced by seven types of chemicals (petrol, diesel, AdBlue, washer fluid, salt liquid, Coca-Cola, alcoholic liquid) what car users meet every day. Testing samples were two bonnets. One was localized inner and another outside. Degradation of coating layer thickness was a long-time term and we measured connection between time of contact and used chemical. Based on such results we were able to determinate level of damage.

## **Klíčová slova**

Karoserie, lak, lakování, znečištění, degradace laku, poškození laku

## **Keywords**

Car body construction, paint, coating, paint degradation, paint damage

### ***Bibliografická citace***

VODÁK, Martin. Degradace lakovaných dílů v důsledku působení chemických sloučenin [online]. Brno, 2021, 81 str. [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127918>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel. Vedoucí práce Ing. Stanislav Tokař, PhD.



### **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Degradace lakovaných dílů v důsledku působení chemických sloučenin“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně .....

.....

Podpis autora



### ***Poděkování***

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Stanislavu Tokařovi, PhD. za možnost psát práci pod jeho vedením, cenné rad, připomínky a trpělivost, kterou mi projevoval v průběhu celé spolupráce. Dále bych rád poděkovat svojí rodině za velkou podporu.

# OBSAH

OBSAH .....	11
1 ÚVOD.....	13
2 SOUČASNÝ STAV POVRCHOVÝCH ÚPRAV KAROSERIE VOZIDEL.....	15
2.1 Chemicko-mechanická předúprava karoserie vozidel .....	16
2.1.1 Odmaštění karoserie.....	16
2.1.2 Úpravy povrchů pro zvýšení antikorozi ochrany karoserie.....	19
2.1.3 Konzervace dutin .....	20
2.2 Lakování karoserie vozidel .....	22
2.2.1 Kataforické lakování (KTL).....	22
2.2.2 Koloristika.....	24
2.2.3 Druhy laku karoserií .....	27
2.2.4 Aplikace základní vrstvy (Primer coat).....	28
2.2.5 Aplikace barevného laku (Base coat) a vrchního čirého laku (Top/Clear coat) .....	30
2.2.6 Opravné práce .....	33
2.2.7 Budoucnost lakování – elektrostatické práškové lakování s HDLV aplikací.....	34
3 SOUČASNÝ STAV A FORMULACE CÍLŮ PRÁCE.....	39
3.1 Analýza současného stavu .....	39
3.1.1 Estetické poškození laku.....	39
3.1.2 Mechanické poškození laku .....	40
3.2 Formulace cílů práce .....	41
4 PŘÍPRAVA A REALIZACE EXPERIMENTU .....	42
4.1 Testovací KAROSERIE – HORNÍ víko motorového prostoru .....	42
4.1.1 Povrchová úprava testovaných dílců karoserie.....	42
4.1.2 Volkswagen Golf 7.....	43
4.2 Použité chemické sloučeniny .....	43
4.3 Příprava karoserie.....	53
4.4 Měřicí zařízení .....	54
4.5 Metodika měření.....	57
5 ANALÝZA VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU .....	58
5.1 Hodnoty tloušťky laku před znečištěním .....	58
5.1.1 Vzorek 1 – Benzín.....	58
5.1.2 Vzorek 2 – Motorová nafta.....	58
5.1.3 Vzorek 3 – AdBlue .....	59

5.1.4	Vzorek 4 – Kapalina do ostřikovačů.....	59
5.1.5	Vzorek 5 – Roztok NaCl.....	60
5.1.6	Vzorek 6 – Coca-Cola.....	60
5.1.7	Vzorek 7 – Alkohol (51 %) .....	61
5.2	Naměřené výsledky.....	62
5.2.1	Vzorek 1 – Benzín .....	62
5.2.2	Vzorek 2 – Motorová nafta.....	62
5.2.3	Vzorek 3 – AdBlue.....	63
5.2.4	Vzorek 4 – Kapalina do ostřikovačů.....	63
5.2.5	Vzorek 5 – NaCl .....	64
5.2.6	Vzorek 6 – Coca-Cola.....	65
5.2.7	Vzorek 7 – Alkohol.....	65
6	DISKUZE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ.....	67
6.1	Experiment ve Vnitřním prostředí .....	67
6.2	Experiment ve Vnější prostředí.....	69
6.3	Diskuze k výsledkům .....	70
6.3.1	Porovnání výsledků s předchozí akademickou prací.....	71
6.3.2	Možnosti pokračování experimentu .....	72
7	ZÁVĚR.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	75
	SEZNAM TABULEK.....	77
	SEZNAM GRAFŮ.....	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	80
	SEZNAM ZKRATEK .....	82

# 1 ÚVOD

Téma diplomové práce jsem si zvolil z profesních důvodů, protože se v pracovním životě pohybuji v oblasti práškového lakování různorodých dílců v celém průmyslovém spektru již několik let. A jelikož ročně najezdím velké množství kilometrů, tak mne zvolené téma o to více zaujalo, protože jako každodenní uživatel vozidla jsem v kontaktu se všemi vybranými testovanými chemikáliemi. Motivace byla o to větší, protože s některými chemikáliemi přichází řidič do kontaktu i jinak, než jak původně zamýšlel (polití karosérie jako následek neodborné manipulace).

Povrchová úprava vozidla, zejména jeho pohledová část, je vizitkou každého vozidla. Asi málokdo z nás přizná, že právě odstín a celkově kvalita laku je jedním z hlavních kritérií při výběru nového, či ojetého vozu. Na všechny celosvětové výrobce vozidel je tedy vytvářen velký tlak, aby kvalita laku karoserie dosahovala vysoké úrovně nejen v době prodeje nového vozidla v autosalonu, ale i po několika letech provozu. Karoserie vozidla, respektive povrchová úprava, je v průběhu let vystavena nepříznivým mechanickým, chemickým a povětrnostním vlivům, které mají za následek zhoršení stavu karoserie. Ve skutečnosti se jedná o mix veškerých situací, kdy vzniká jakékoli porušení laku karoserie vozidla. Majitelé vozidel se snaží předcházet mechanickému poškození laku. O to horší mohou být poškození, které nejsou na první pohled zcela viditelné, takže si majitelé standardně neuvědomují potenciální komplikace, které se v budoucnu mohou objevit. Je třeba si uvědomit, že takovýchto potenciálních nástrah na poškození je celá řada. Od chemických posypů v zimním období přes UV stálost laku až po jakýkoli kontakt povrchu laku s chemickou sloučeninou. Poslední jmenované je dosti běžné, protože může standardně nastat vytečení pohonných hmot nebo AdBlue během tankování na karoserii, či polití (alkoholickým) nápojem anebo ostříknutí roztokem z ostříkovačů. Pokud by majitelé vozidel věděli o nepříznivých vlivech jednotlivých chemických sloučenin, mohli by svojí včasnou reakcí prodloužit životnost karoserie vozidel.

V teoretické části práce bude provedena rešerše celého procesu povrchové úpravy v automobilovém průmyslu, který má několik kroků, kromě samotného lakování je vysvětlena i mechanicko-chemická předúprava. Navázáno bude druhy a typy používaných laků a v závěru bude zmíněná jedna z potenciálních lakovacích technologií budoucnosti.

Cílem této práce v praktické části je zjistit, jaký mají zvolené látky vliv na lak karosérie, a to v závislosti na použité chemické sloučenině a časové délce kontaktu. Jako testovací vzorek posloužila přední víka motorového prostoru vozidla Volkswagen Golf 7. generace. Jednalo se celkem o 2 totožné kapoty, aby byly výsledky co nejprůkaznější. Jedna kapota byla uvnitř v interiéru, druhá byla ponechána venku, kde na ni dále působila kromě chemické sloučeniny i proměnlivá teplota a vlhkost.

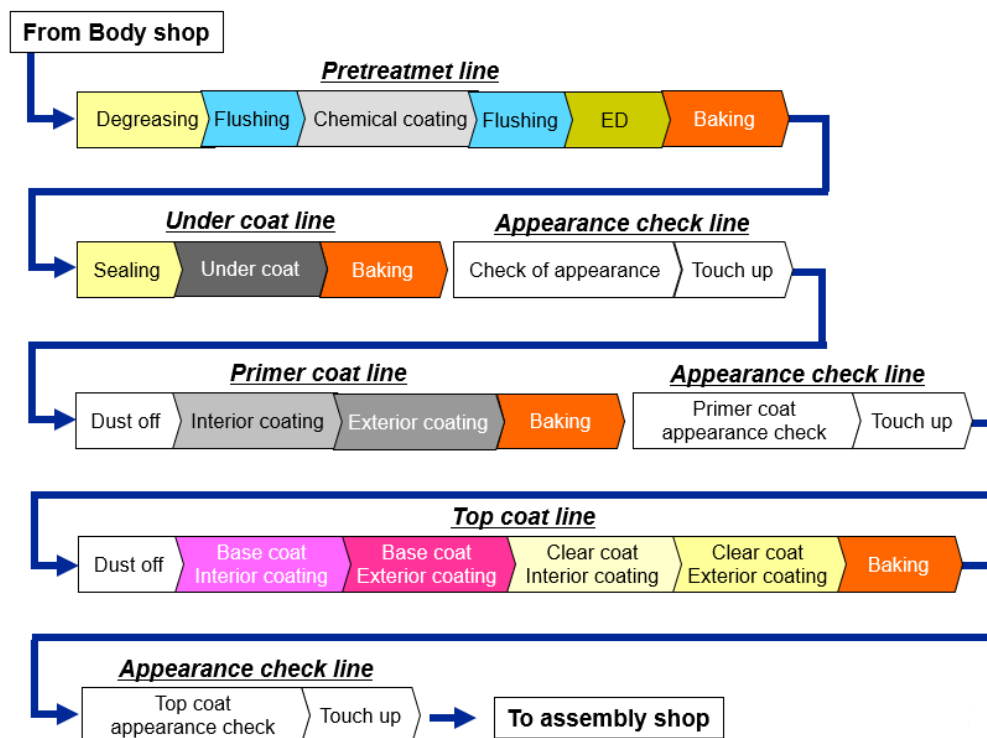
Na obou kapotách bylo vytvořeno 7x7 testovacích oblastí, kde se prováděl samotný experiment. Chemické látky působily na povrch dlouhodobě, a v pravidelných intervalech bylo prováděno měření tloušťky vrstvy laku, aby byla zjištěna jeho časová degradace. Vyhodnocení bylo provedeno přístrojem Coatmaster Flex, jehož inovativní technologie umožňuje bezkontaktně měřit mokré i práškové laky, před i po vytvrzením. V závěrečné části jsou interpretovány získané výsledky a je uvedena diskuze nad získanými daty.

## 2 SOUČASNÝ STAV POVRCHOVÝCH ÚPRAV KAROSERIE VOZIDEL

Celý proces povrchové úpravy karoserie vozidel neobsahuje pouze samotné zalakování dílců karoserie, ale jedná se o zcela sofistikovaný postup začínající chemicko-mechanickou předúpravou povrchu, která je neméně důležitá, protože pouze korektně připravený povrch může být zalakován v požadované kvalitě a může poskytnout dlouhou životnost laku. Lak, respektive všechny vrstvy laku, poté slouží k ochraně karosérie vozidla, a to hlavně před chemickými i mechanickými vlivy.

Povrchová úprava karoserie vozidel obsahuje tyto kroky (přesnou posloupnost lze vidět na obrázku níže):

1. Odmaštění – odstranění veškerých nečistot z povrchu dílce.
2. Fosfátování a chromátování – chemická předúprava dílců karoserie slouží ke zvýšené odolnosti proti korozi a zajišťuje lepší přilnavost lakované vrstvy.
3. Konzervace dutin – vyplnění dutin horkým voskem z důvodu ochrany před korozí ze zkapalněné vody, popřípadě aplikace plastizolu na podvozkové části.
4. Kataforické lakování – elektroforetické lakování základní vrstvy sloužící k navýšení antikorozní ochrany.
5. Lakování – nanesení samotného primeru (plnič), vrchního laku (base coat s požadovanou barvou) a top(clear) coatu.
6. Opravy – finální úprava laku leštěním, popřípadě opravný proces. [1]



Obr. č. 1 – Kompletní schéma lakovacího procesu v automobilním průmyslu [12]

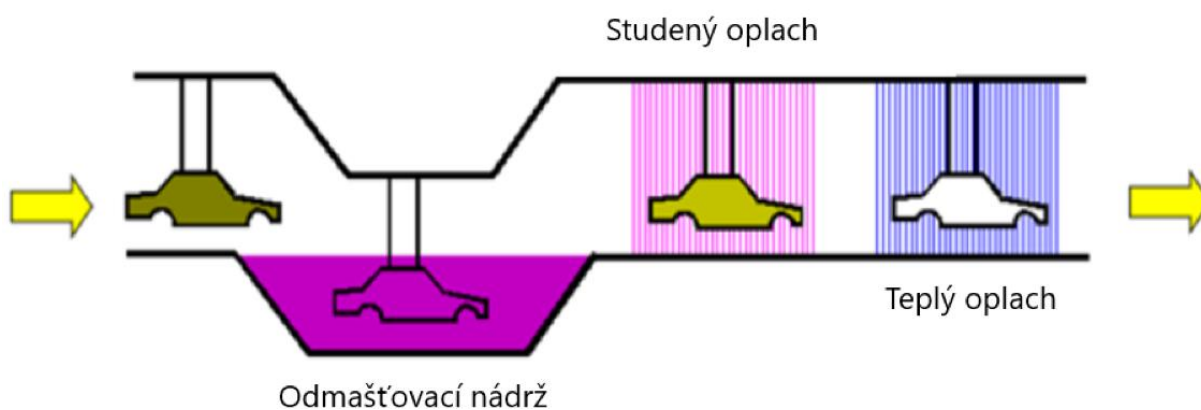
## 2.1 CHEMICKO-MECHANICKÁ PŘEDÚPRAVA KAROSERIE VOZIDEL

Největší problém karoserie vozidel je koroze, která je definována jako znehodnocování materiálu způsobené chemickým nebo fyzikálním působením prostředí, de facto se jedná o souhrn fyzikálně-chemických dějů, které mají za výsledek částečně nebo úplně rozrušit materiál. Je třeba si uvědomit, že korozi podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale také plastické hmoty, keramické, sklovité, silikátové a jiné materiály. Chemicko-mechanická předúprava dílců karoserie se dělá hlavně pro navýšení protikorozní ochrany. [1]

### 2.1.1 Odmaštění karoserie

Jedná se o souhrnný název, který zaštiťuje odstranění veškerých nečistot z povrchu dílce karoserie, které jsou vázané buďto fyzikální absorpcí (látky tukového charakteru) nebo adhezními silami (prach, kovové třísky, aj.). Platí, že energie vazby takovýchto nečistot k povrchu dílu je menší než u chemicky vázaných nečistot (koroze). Díky tomu je lze odstranit snadněji a beze změny kovového povrchu. Hlavním záměrem odmašťování je odstranění takovýchto nečistot z povrchu karoserií a jejich převedení do roztoku. Odmašťovací operace lze rozdělit do tří skupin:

- Alkalické odmašťování
- Odmašťování organickými rozpouštědly
- Elektrolytické odmašťování [1]



Obr. č. 2 – Schematicky znázorněný proces odmašťování v automobilovém průmyslu [12]

#### **Alkalické odmašťování**

Odmašťování v alkalických roztocích je proces poměrně složitý – proběhne neutralizace mastných kyselin, které následně přechází do roztoku ve formě rozpuštěných mýdel. Díky povrchově aktivním mýdlům dochází ke snížení povrchového napětí mezi roztokem a mastnotou, což velmi příznivě působí na proces odmašťování. Tímto způsobem dochází k odmašťování rostlinných i živočišných tuků.

Minerální mastnoty jako jsou oleje, vazelíny, či vosky se pochopitelně odmašťují komplikovaněji, poněvadž u nich nedochází ke zmydelňování. Odmašťování minerálních olejů se realizuje za zvýšené teploty tím, že se emulgují ve formě drobných kapiček do roztoku odmašťovačů.

Alkalické odmašťovací prostředky obsahují louh nebo sodu, fosforečnany, uhličitany, křemičitany, povrchově aktivní látky a emulgátory. Aplikují se ponorem nebo nástřikem. Teplota je  $60 \div 95$  °C a koncentrace  $1 \div 10$  %. Pro ponor se používají ocelové vany s topnými tělesy, které jsou vybaveny technologií pro odstranění plovoucích nečistot na hladině. Pro nástřik se používá zařízení, které se skládá z odmašťovací nástřikové kabiny, filtru a sběrné nádrže. Rozpouštědlo je čerpáno ze sběrné nádrže a tryskami rozstřikováno po karoserii. Nástřikový způsob využívá mechanického účinku dopadajícího rozpouštědla, čímž se snadněji vytěsňuje mastnota z povrchu karoserie, snižuje se a snadněji tím vytěsňuje mastnotu z povrchu karoserie, čímž se také sníží operační doba, koncentrace lázně a pracovní teplota. Pro odmašťování před fosfátováním jsou vhodné odmašťovače bez metasilikátů. Pro tyto lázně (obsahující silikáty) je nutný okamžitý a dostatečný oplach, protože zaschlé zbytky se velmi často těžko oplachují, a navíc při působení  $\text{CO}_2$  ve vzduchu se mohou tvořit těžkorozpustné polysilikáty.

Jak bylo uvedeno, na emulgační schopnost a vytěsňování mastnot z povrchu má vliv teplota a mechanický účinek. Zvyšování teploty má vliv na měknutí některých tuhých mastnot (vosky), snížení viskozity, klesá povrchové napětí roztoku a tím se tedy zvyšuje i jeho vytěsňovací schopnost. Z toho plyne, že čím vyšší je teplota odmašťovacího roztoku, tím vyšší je také jeho odmašťovací účinnost. Obvyklé teploty pro ponorné odmašťování jsou  $80 \div 95$  °C a pro nástřik  $55 \div 75$  °C. Mechanický účinek napomáhá k porušení vrstvy mastnot a tím snadnější emulgaci nebo dispergaci. Tohoto účinku dosáhneme při aplikaci nástřikem, u ponoru pomocí víření. [1]

#### ***Odmašťování organickými rozpouštědly***

Jedná se o metodu, které je velmi rozšířená a její použití lze nalézt hlavně tam, kde není možné využít alkalické roztoky (některé barevné kovy). Tyto rozpouštědla rozpouštějí mastnoty, čímž dochází k uvolňování i dalších nečistot na povrchu. Odmašťování probíhá rychle, ideální použití je pro předběžné čištění od hrubých vrstev oleje nebo tuků, ale také při velmi členitém povrchu součástí.

Ideální rozpouštědlo by mělo rozpouštět všechny druhy nečistot. Další požadované vlastnosti jsou stálost, nejedovatost, nehořlavost a lehká regenerovatelnost. Nejvíce se používá trichloretylén, poněvadž je nehořlavý, velmi účinný v rozpouštění mastnot, vosků, živice, asfaltu a dehtu. Rozložení probíhá působením přímého slunečního světla, ultrafialového záření za vzniku kyseliny solné, která obvykle způsobuje korozi. Další nesporná výhoda je, že nereaguje s většinou kovů, kromě hliníku



a hořčíku. Při vyšších teplotách (okolo 120 °C) se rozkládá za vzniku prudce jedovatého fosgenu. Takové nebezpečí se obvykle vyskytuje při regeneraci rozpouštědla destilací.

Z důvodu výborné odmašťovací schopnosti je výhodné použití pro hrubé odmašťování. Nevýhodu lze spatřovat v nemožnosti likvidace vyčerpané lázně a hořlavosti, z čehož plynou problémy se sušením => dlouhé časy zasychání bez použití sušení. Je třeba neopomenout, že i přes dobrý výkon tohoto odmašťovadla v praxi je z ekologických důvodů využití chlorovaných uhlovodíků k odmašťování na ústupu. Jako alternativa se nabízí přípravky na bázi alifatických uhlovodíků nebo použití předchozí metody – alkalického odmašťování. [1]

### ***Elektrolytické odmašťování***

V případě potřeby docílit nejlepších výsledků odmaštění, lze použít elektrolytické odmašťování, díky čemuž je tento proces zařazen jako poslední před citlivými povrchovými úpravami, např. galvanické pokovování. Realizuje se v ocelových vanách vyložených sklem. Jedná se o elektrolýzu, kde galvanickým proudem dochází k disociaci látek alkalického roztoku. Vodík a alkalický kov je vylučován na katodě. Vyznačuje se nestálostí a ihned se slučuje s vodou na alkalický hydroxid (např. NaOH). Díl může být díl umístěn na anodě nebo katodě, máme tedy tři možnosti provedení:

1. Díl je umístěn na katodu – odmašťování je intenzivnější díky chemickým působením koncentrovaného roztoku hydroxidu a mechanickým odloučením mastnoty vznikajícími bublinkami vodíku. Problém této metody je difuze vodíku do povrchu kovu, čímž se projevuje vodíková křehkost.
2. Díl je umístěn na anodu – probíhá rozpuštění kovu a zároveň vylučování kyslíku, který taktéž zvyšuje mechanický účinek odloučení bublinek mastnoty.
3. Díl je umístěn střídavě na katodu a anodu – jedná se o nejefektivnější odmašťování, poněvadž dochází ke střídavému umístění daného dílce v časovém poměru cca 3:1. Někdy též označováno jako bipolární odmašťování se nejvíce hodí pro čištění pásů plechů a drátů v kontinuálních linkách.

Lze aplikovat 2 základními typy odmašťovacích lázní:

- Kyanidovými – proces je účinný, nicméně prudká jedovatost a velmi komplikovaná neutralizace hovoří proti této metodě.
- Bezkyanidovými – proces sice není tak účinný, ale lze jej aplikovat na ocelové, mosazné i měděné výrobky. [2]

## 2.1.2 Úpravy povrchů pro zvýšení antikorozi ochrany karoserie

### *Fosfátování*

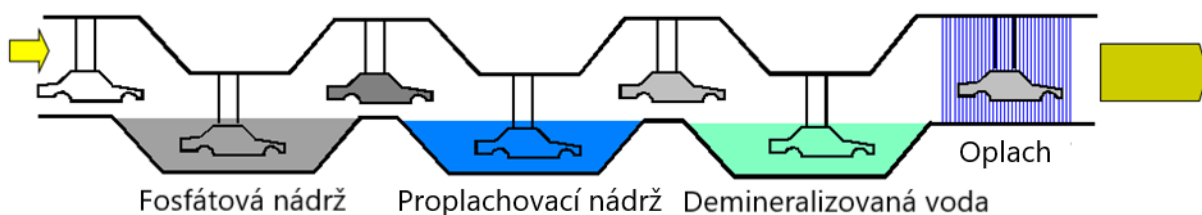
Fosfátování patří k jedné z oblíbených metod technologie předúpravy povrchů před lakováním. Tato metoda je poněkud levná a velmi jednoduchá. Využívá se obzvláště pro kvalitní předúpravu povrchů kovů. Zajišťuje hlavně zvýšenou odolnost proti korozi a dobrou přilnavost při lakování. Čím více je tam fosfátové vrstvy, tím větší je ochrana proti korozi. Tato metoda je založena na schopnosti některých kovů vytvářet primární, sekundární a terciální fosforečnany ve dvojmocné formě. Existuje i trojmocný fosforečnan železitý. Jeho nevýhodou je však jeho nerozpustnost. Fosfátování je působení kyseliny fosforečné na kov, při kterém vznikají na vyčištěném povrchu nerozpustné fosforečnany, které jsou chemicky vázány do krystalické mřížky kovu. Velmi důležité je při fosfátování dodržet koncentraci roztoku a teplotu lázně ( $\pm 5 \div 8$  °C). Chemické složení lázně závisí na povrchové úpravě kovu. Mezi základní složku lázně patří roztok kyselého fosforečnanu vrstvotvorného kovu. Vrstvotvorný kov je: zinek, vápník, mangan a železo. V automobilovém průmyslu se při fosfátování používá obzvláště zinek. Když dáme do fosfatizační lázně ocelovou karoserii, dojde na povrchu k úvodní korozní reakci, kde volná kyselina rozpustí železo a vzniká vodík.

Dochází k úbytku volné kyseliny ve fosfatizační lázni a dojde k porušení hydrolytické rovnováhy roztoku. Následkem toho je rozklad kyselého fosforečnanu zinečnatého v lázni a vznik terciálního fosfátu. Průběh této reakce lze znázornit zaznamenat rovnicí:

Vzniklá volná kyselina fosforečná obnoví rovnováhu roztoku. Fosforečnan zinečnatý se ukládá v krystalické formě na povrchu oceli a vytváří ochrannou konverzní vrstvu. Nerozpustné fosforečnany tvořící fosfátovou vrstvu, které zabraňují přístupu volné kyseliny k povrchu kovu a tím zpomalí reakci, která se po určité době úplně zastaví. Rychlost chemické reakce lze ovlivnit teplotou a oxidačními činidly. Čím vyšší je teplota, tím probíhá chemická reakce rychleji. Mezi nejpoužívanější oxidační činidla patří dusitan, dusičnan, chlorečnan, peroxidy vodíku a jako urychlovač sůl hydroxylaminu.

Působení činidel má za následek oxidaci vodíku, který vzniká při úvodní korozní reakci. Železo, které přijde z upravované karoserie do fosfatizační lázně ve dvojmocné formě, se oxiduje na trojmocné a vypadává z roztoku jako fosfatizační kal. Ten je převážně tvořen fosforečnanem železitým a v malém množství také fosforečnanem zinečnatým. Urychlovače mohou snížit pracovní teplotu z 90 až 98 °C na 30 až 70 °C a zkrátit expoziční dobu z 20 až 30 minut na 5 až 10 minut při aplikaci ponorem a na 1 až 3 minuty při aplikaci postřikem.

Složení lázně hraje na upravované karoserii velkou úlohu, neboť zde vznikají různé typy fosfátových vrstev, které se liší tloušťkou, četností, velikostí krystalků a krystalickou strukturou. [1] , [2]



Obr. č. 3 – Celý proces fosfátování v automobilovém průmyslu [12]

### Chromátování

Chromátování patří mezi nejrozšířenější druh pasivace. Nejčastěji má využití při úpravě hliníku a zinku. Touto metodou se na povrchu vytvoří povlak. Projevuje se jako interference světla a při silnější vrstvě sytými odstíny barev. Jeho velké využití je pro zvýšení korozní odolnosti karoserie, obzvláště u neželezitých částí, a ještě pro zlepšení přilnavosti vlastností nátěrů.

Chromátovací lázně obsahují především sloučeniny šestimocného chromu a tzv. aktivátory (anionty). Aktivátory napomáhají vzniku filmu na povrchu upravovaného kovu. Tvorba vrstvy vzniká jako reakce kovového povlaku se složkami lázně za současné redukce šestimocného chromu. Ubýváním povlaku se zvyšuje lesk a na povrchu se vytváří gelový film. Složení lázně i zde hraje svoji roli co se týče složení, tloušťky a barvy filmu. Tloušťka a složení vzniklé vrstvy ovlivňují ochranné vlastnosti. Po vyloučení vrstvy jsou dva oplachy, kde jeden je teplý a druhý studený. Teplota oplachu nesmí přesáhnout 60 °C. Při vyšší teplotě by mohlo dojít k porušení vrstvy. Po oplachu následuje proces sušení, který musí být krátký a teplota povrchu taktéž nesmí přesáhnout 60 °C. Nedodržením postupu a hranice teploty by došlo k popraskání vrstvy a následnému odlupování. Chromátování lze použít i na zinkové povlaky. Životnost chromátové vrstvy se dá prodloužit také aplikací vodorozpustných akrylátových laků.

Jelikož šestimocný chrom má velkou toxicitu, tak se v dnešní době tato metoda už moc nepoužívá a je nahrazena, např. tzv. titanováním. Na trhu jsou však i bezchromátové prostředky, které mají srovnatelnou protikorozní ochranu. Avšak v blízké době se asi nepodaří najít takovou náhradu jako je šestimocný chrom s jeho dobrými vlastnostmi. Nejčastější technologie, které nahrazují chromátování jsou zinkové povlaky s konverzními povlaky na bázi trojmocného chromu nebo zinkové slitinové povlaky (především ZnNi) a neelektrolyticky vylučované povlaky a systém se zinkovými lamelami. [1] , [2]

### 2.1.3 Konzervace dutin

Výroba automobilů od svého počátku prodělala dlouhý vývoj inovací v povrchových úpravách, které si většina výrobců vyvíjela sama individuálně dle svých možností technologií a podmínek. Hlavním kritériem byly problémy s vlhkostí v místech, která se obtížně chrání před vniknutím vody, popřípadě jiných agresivních sloučenin. Z logiky věci tyto místa byla první, na kterých se začala objevovat první koroze, takže se výrobci automobilů zaměřili na utěsnění a udržení daných míst v suchu. Nejčastěji bývají

postiženy spodní části karoserie, podvozku, spodní části boků a čel karoserie (prahy atd.), jelikož jsou obzvláště vystaveny vlhkosti a kontaktu narážejících kamenů, což velice poškozuje ochranné vrstvy, kterým je díky tomu potřeba poskytnout navýšení ochrany. Do konzervace dutin patří i aplikace těsnění sloužící k samotnému těsnění vstupů do karoserie, ale i odhlučnění vozidla.

Neméně významné je i ochrana dutin proti zkondenzované vodě. Nesporným přínosem pro ochranu těchto míst je vyplnění dutin pomocí horkého vosku (120 °C). Jedná se o ponor prahů a nástřík sloupků, kdy je samozřejmě potřeba zvolit přesně odpovídající trysku. Výběr je velmi široký. Celý proces probíhá zcela automaticky pomocí robotů (viz obrázek č. 4 níže) a aplikační tlak se pohybuje v rozsahu 60 až 70 bar. Standardně se využívá materiál s obsahem vosku 60–70 % vosku, který je zamíchán ve vodní emulzi. Pro ošetření podvozků a spodních částí karoserií se využívá plastizol. Tato technologie je šetrná k životnímu prostředí, takže je v současné chvíli kvůli tlaku ochránců přírody velmi vítána. [1] , [2]



*Obr. č. 4 – Roboti nanášejí různé druhy plastizolu za účelem těsnění spár a ochrany karoserie ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3]*

## 2.2 LAKOVÁNÍ KAROSERIE VOZIDEL

Lak, respektive všechny vrstvy laku, jsou kromě estetických požadavků nanášeny na karosérii vozidla s hlavním úkolem – ochránit ji před mechanickými a chemickými vlivy. Lakování karoserie obsahuje aplikaci několika vrstev, která má své specifické složení a následnou tloušťku na povrchu karoserie. Kromě odlišnosti vlastní tloušťky vrstvy je rozdílná i metoda nanášení dané vrstvy a místo aplikace.

Základní vrstvy jsou detailněji popsány dále v práci, nicméně standardní schéma a tloušťky daných vrstev popisuje následující obrázek:



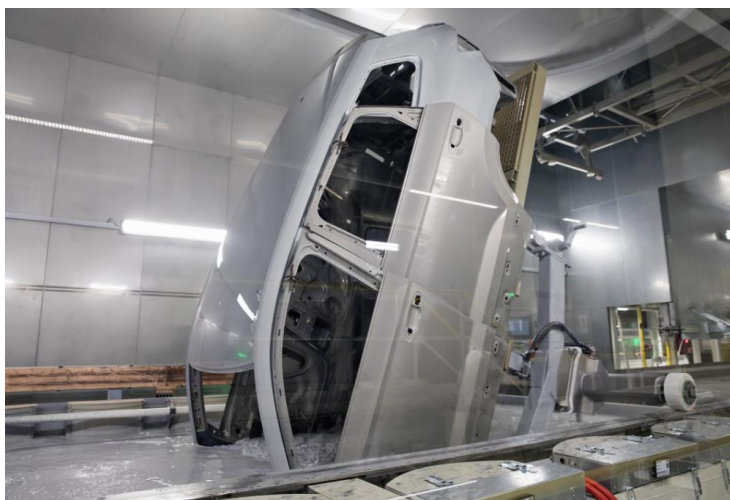
Obr. č. 5 – Standardní vrstvy laku v automobilovém průmyslu [6]

### 2.2.1 Kataforické lakování (KTL)

Kataforetické lakování, či kataforéza (KTL), je jeden ze dvou druhů elektroforetického povlakování (druhou metodou je anaforetické lakování ATL). Podmínkou dosažení vysoké kvality finální vrstvy u obou metod je kvalita povrchové předúpravy.

KTL je v dnešní době jedna z nejmodernějších technologií povrchových úprav kovových dílů. Vyznačuje se vysoce hospodárným a ekologickým způsobem lakování. Patří také mezi nejprogresivnější výrobní technologie nanášení základních barev s vysokým stupněm antikorozní ochrany kovů. Kataforéza

nemá v mnoha výrobních odvětvích téměř žádnou konkurenci, ani při lakování velmi složitých tvarů, kde je kladen důraz na dokonalý výsledek. Díky své vysoké protikorozi vlastnosti se nejčastěji využívá v automobilovém průmyslu. Používá se především pro ochranu ocelových, pozinkovaných, hliníkových i nerezových dílů. Využívá se elektrické vodivosti, čímž může být kataforeticky povlakováno. Velmi důležité je mít povrch očištěný od mastnot, mechanických nečistot a korozních zplodin a je potřeba vytvořit konverzní fosfátovou vrstvu pro kvalitnější přilnavost. KTL může být použita již jako finální, tzv. jednovrstvá povrchová úprava nebo jako vhodný základ pro další povrchové úpravy. [2]



*Obr. č. 6 – Linka kataforetického lakování (KTL) [3]*



*Obr. č. 7 – Karoserie prochází lázní o teplotě 60 stupňů a ve vanách se otáčí střechou dolů, aby se tekutiny dostaly do každého místa [3]*

### **Princip**

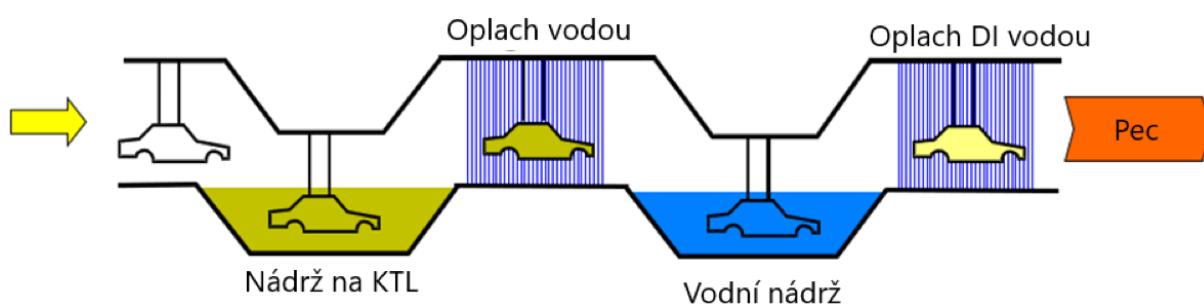
Kataforéza funguje na principu řízeného iontového rozpouštění organické pryskyřice v demineralizované vodě na povrchu povlakovaného materiálu. Jde o nanášení kationické nátěrové hmoty rozpouštěné ve vodě na bázi epoxidů, akrylátů či epoxy-polyuretanové pryskyřice elektroforézním způsobem. Na katodu v analytické lázni (vodní roztok elektrolytické nátěrové hmoty) je zapojen upravovaný (povlakovaný) díl stejnosměrného proudu. Vlivem tohoto pole putují od anody ke katodě polykationty, které reagují s hydroxylovými ionty. Tyto ionty vznikly rozkladem vody, díky tomu ztrácejí rozpustnost a vylučují se na povrchu materiálu. [2]

S narůstající tloušťkou vyloučeného povlaku roste úměrně i odpor a klesá rychlost vylučování, až do doby, než se proces úplně zastaví. Tloušťka se pohybuje okolo 10 až 30  $\mu\text{m}$  a závisí na velikosti napětí. [2]



Nejdůležitější faktory pro úspěšné kataforetické povlakování jsou:

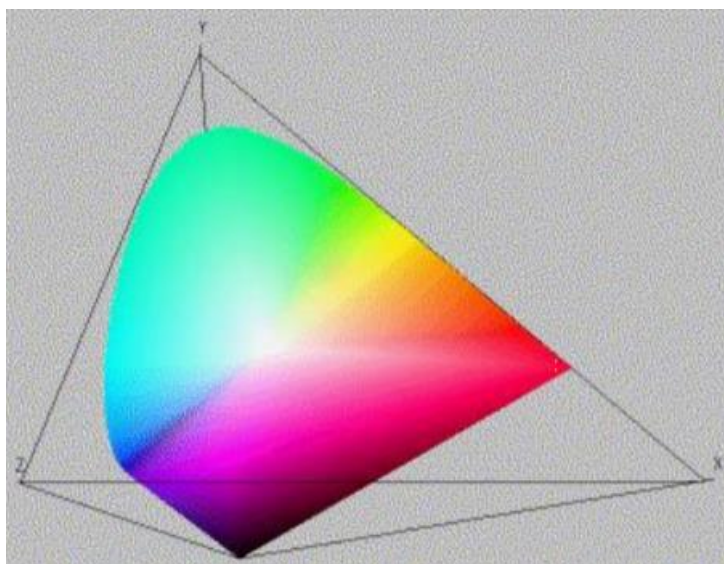
- vodivost materiálu
- organická pryskyřice v kationtové formě ve vodném roztoku
- možnost ponoru předmětu do elektrolytické lázně
- odolnost materiálu teplotám do 200 °C [2]



Obr. č. 8 – Celý proces KTL v automobilním průmyslu [12]

## 2.2.2 Koloristika

Koloristika je obor, který se zabývá problematikou posuzování (např. vlastností a užití) barev a barevných odstínů nátěrových hmot pro lakování vozidel. V dnešní době je nedílnou součástí složek povrchových úprav vozidel. Máme na výběr velké množství odstínů (okolo sto až sto třicet tisíc) a pododstínů, a i přes to designéři stále přichází s novými. U laků se speciálními efekty mohou být dosti složité odstíny laků (metalické a perleťové).



Obr. č. 9 – Kolometrická soustava [3]

Populace ovlivněna moderní dobou se při koupi nového vozu řídí právě vhodným odstínem karoserie, který při výběru vozidla může sehrát velmi důležitou roli. Z toho plyne požadavek

na sjednocení odstínů karoserie i přes to, že nejsou vyrobeny ze stejných materiálů. Velmi důležité je také sjednotit odstín vzhledem k vadám vzniklým lakováním.

Kolometrie je nauka o měření barev a barevných odstínů světla a předmětů. Zabývá se tím, jestli jsou odstíny laku stejné. Barva karoserie může mít pochopitelně také určitý vliv na bezpečnost provozu, poněvadž tmavé matné odstíny jsou hůře zřetelné při snížené viditelnosti. Opačně jsou na tom laky se speciálním efektem, které lépe odráží světlo – například tmavé vozidlo přehlédnete určitě snadněji než vozidlo světlé s perleťovým lakem. Existují proto také reflexní nálepky na karoserii, které toto riziko zmenšují. [1]

### **Pigmenty**

Pigmenty jsou hlavní složkou nátěrových hmot a laků. Zastupují důležitou roli, protože nezprůhledňují nátěrový film, vybarvují jej a také v případě speciálních pigmentů dodávají speciální vlastnosti. Pigmenty se standardně dělí na přírodní a umělé s tím, že přírodní se dnes už moc nepoužívají. Umělé jsou většinou ve formě prášku, které po smíchání s pojivem mají krycí nebo vybarvovací schopnost. Velice podobná pigmentům jsou plniva, ale nemají tak dobré vybarvovací a krycí schopnosti. Dnes jsou pigmenty používány na anorganické bázi, a to jim umožňuje větší barevnou stálost. Na kvalitě pigmentů se podílejí jejich fyzikálně – optické vlastnosti, což je barevnost a krycí schopnost.

Barevnost je schopnost pohlcovat určitou část světla, tedy elektromagnetického vlnění v rozmezí  $380 \div 770$  nm. Krycí schopnost je neumožnit průchod paprsku světla nalakovanou vrstvou, čímž zajišťují neprůhlednost. Mezi ovlivňující faktory patří také index lomu, velikost částíček, sytost, bělost, světlost a další. Důležitá je struktura (fyzikální vlastnost), reaktivita s jinými látkami (chemická) a světlostálost. Pigmenty se mění vlivem působení slunečního světla. Dochází ke změně odstínu, tmavnutí nebo ztrátě sytosti. U organických pigmentů dochází ke ztrátě barevnosti a sytosti. U anorganických je častější změna odstínu a tmavnutí. Rozhodující vliv má na jeho barevnost chemické složení.

Jednotlivé atomy nebo ionty plní funkci nositelů barevného účinku tzv. chromoforů, křivotvorných látek tzv. chromogenů nebo látek ovlivňující barevnost tzv. autochromů. Barevnost a kryvost ovlivňuje dosažení požadované krystalické struktury. Pigmenty musí být chemicky čisté látky, protože příměsi mají vliv na změnu odstínu především u pestrých barev. Přítomnost i malého množství nežádoucích látek způsobí u bílých pigmentů změnu na barevný. Jedna ze špatných vlastností je jejich toxicita, nicméně některé jsou považovány za zcela netoxické, například titanová běloba. Oproti tomu silně toxické jsou olovnaté a chromanové pigmenty.

Pigmenty můžeme také rozdělit na základní a speciální. Mezi základní patří nepestré – nebarvené (bílá, černá a šedá barva), které jenom kryjí a barevné pigmenty, které kryjí, a ještě



navíc vybarvují. Odraz denního bílého světla nejlépe odrazí bílé pigmenty (100 % bílého světla). Černý pigment naopak 100 % denního bílého světla pohltí. Šedý odrazí jen část bílého světla při všech vlnových délkách. Barevné pigmenty odrážejí jen část spektra denního světla, které odpovídá jejich odstínu, a zbylou část absorbují.

Skutečný barevný odstín v praxi není zcela čistý, protože neodráží pouze jednu vlnovou délku. Čím je rozsah vlnových délek odražených paprsků menší, tím je odstín sytější. Speciální pigmenty mají jiné fyzikálně – chemické vlastnosti. Dělí se na antikorozi, smaltařské a keramické, lesklé a luminiscenční. Z rozdělení vyplývají jejich specifické vlastnosti. Ty pak dávají laku specifický vzhled (např. perleťový efekt). Lesklé pigmenty rozdělujeme na kovové a perleťové. [1]

### ***Lesklé kovové pigmenty***

Lesklé kovové pigmenty se také označují jako „bronze“. Mohou být lístkovitě nebo nelístkovitě upravené práškové kovy, které po nanesení dávají karoserii strukturu a kovový lesk. U lístkovitého typu se kovové částičky usazují na povrchu lakované vrstvy. U nelístkovitého typu se částičky rozprostírají v celém prostoru lakované vrstvy. V automobilovém průmyslu se převážně používá nelístkovitý typ. Nejvíce používané lesklé kovové pigmenty jsou měděné (čistá měď), hliníkové (čistý hliník) a zlatá bronz (směs mědi, zinku a hliníku v různém poměru). Částičky kovu rozmístěného v laku fungují jako zrcadla, které se změnou úhlu mění i jas barvy. Čím více se blíží náhledový úhel úhlu totální reflexe, tak se mění i barva od tmavých tónů k jasným odstínům. Na celkové optické vlastnosti metalických laků má vliv velikost částíček, koncentrace a prostorová orientace. Při stříkání těchto laků je důležité zajištění rovnoměrného rozložení zrn. [1]

### ***Lesklé perleťové pigmenty***

Mezi lesklé perleťové pigmenty řadíme slídy s povlakem oxidu titaničitého nebo jiných oxidů – oxid bizmutitý a uhličitán olovnatý. Po metalických lacích byly vyvinuty efektivní perlescentní a perleťové pigmenty na bázi mikro částic. Dělí se na 6 skupin, které mají všechny stejný fyzikální základ – využívají interference světla. Tento jev má za následek, že při změně úhlu pohledu na karoserii se změní barevný tón a intenzita jasu:

1. Mikro částice jsou potažené jednou nebo více vrstvami tenkého oxidu kovu. Tyto částičky pak vytvářejí hluboký lesk a mezihru barev, která je způsobena vrstvenou strukturou oxidu.
2. Mikro částičky jsou ze speciálně povrchově upraveného oxidu křemičitého. Šupinky mají stejnou tloušťku, proto dosahuje lak čistějšího odstínu a vysokého jasu.
3. Mikro částičky jsou povrchově upravené částičky oxidu hlinitého, které poskytují jiskřivý efekt.
4. Mikro částičky jsou opacitní mnohvrstvé pigmenty, které vytvářejí interferenční barvy. Jsou velmi závislé na úhlu pohledu.

5. Mikro částčky jsou kapalné krystaly, které jsou transparentní a vytvářejí barevné efekty závislé na podkladu a úhlu pohledu. Schopnost vytvářet tyto efekty zajišťuje zesíťovaná struktura.
6. Poslední možností jsou extrémní pigmenty. Dosahují daleko lepšího efektu, čistoty a zářivého odrazu. Zrno nepřesahuje tloušťku 1 $\mu$ m a je složeno z pěti vrstev, které jsou mezi sebou propojeny. Každá vrstva má jinou funkci, ale jako celek zajišťují požadovaný výsledek. Střední vrstva funguje jako zrcadlo. Další dvě vnitřní vrstvy rozptylují odražený paprsek světla a zbylé dvě rozptylují dopadající paprsek. Laky s perleťovým efektem existují jako dvouvrstvé nebo vícevrstvé s postřikem a nanášejí se shodně jako metalické. I tady je velice důležité zajistit rovnoměrné uložení perleťových zrn. [1]

### **2.2.3 Druhy laku karoserií**

Volba druhu laku má velmi významný vliv na průběh celého procesu lakování a pochopitelně i na finální stav zalakovaného dílce. Obzvláště chemické složení laku nejvíce ovlivňuje technologii lakování. Hlavním faktorem, který rozhoduje o možnosti použití laku, je chemická skladba. Je třeba si uvědomit, že právě použitá skladba zcela zásadně ovlivňuje následné použití, životnost, cenu a vydatnost. Aktuálně se využívá téměř ve všech aplikacích na karoserii vozidel syntetický lak, který se rozděluje do následujících skupin:

#### ***Alkydové laky***

Největší nevýhodou těchto laků je delší doba zasychání, nicméně mají velmi dobrou slévatelnost, při aplikaci není tendence stékat, dokonce ani v tlustých vrstvách. Velmi dobrá kryvost, vysoký lesk a odolnost proti povětrnostním okolnostem. V případě nevýhod je třeba zmínit i nízkou životnost, kterou je ovšem možné prodloužit přidáním tužidla, které následně zvýší i lesk, barevnou stálost a oteruvzdornost. Tento lak se využívá zejména na opravy starších vozidel, poněvadž má nízké požadavky na přípravu pro aplikaci.

#### ***Akrylokombinační laky***

Jedná se o rychleschnoucí laky, které mají velké plus v nízké pořizovací ceně. Standardně jsou dodávány ve spreji. Dobrá slévatelnost je vykoupená velkou tendencí stékání, obzvláště v případě silnějších vrstev. Oproti alkydovým lakům mají nižší lesk, ale lehce delší životnost. Použití lze nalézt v opravárenství starších vozidel.

#### ***Polyuretanové laky***

Velká výhoda těchto laků je v krátké době zasychání a lehká zpracovatelnost po natužení směsí, oproti tomu nevýhoda spočívá v podstatně menším lesku a horší slévatelnosti. Další benefit je životnost,

z toho plynoucí otěruvzdornost a stálobarevnost. Z uvedených benefitů plyne, že použití je vhodné pro celou škálu pracovních strojů, návěsy a podvozky vozidel.

#### ***Akrylátové laky***

Velké plus těchto laků je krátká doba zasychání a v tenkých vrstvách dobrá slévateľnost, nicméně v případě aplikace tlustší vrstvy mají tendenci stékat. Další velké plus je vysoký lesk, otěruvzdornost, dlouhodobou životnost a stálobarevnost. Značná je odolnost proti povětrnostním vlivům a určitým chemikáliím. Kromě tendence ke stékání jsou další nevýhody vysoké nároky na přípravu podkladu i samotné lakování -> vyšší cena. Na akrylátové laky můžeme narazit poslední dobou již u běžných vozidel v provozu a u všech nových vozidel, u kterých je kladen důraz na dlouhou životnost a stálost laku.

#### ***Vodou ředitelné laky***

Nejekologičtější typ laku s minimálním dopadem na životní prostředí, i přes to je pro člověka nebezpečný. Po vdechnutí tohoto laku dochází k navázání částecek laku na hemoglobin, což může v lehčích případech vést k bolesti hlavy, zmatenosti, popřípadě zvracení, v horších případech může nastat smrt. Z tohoto důvodu jsou při této aplikaci požadovány bezpečnostní ochranné prvky – dýchací masky nebo celý lakýrnický bezpečnostního oblek. Nevýhodou může být i velká citlivost na přípravu podkladové vrstvy a snížená odolnost k povětrnostním vlivům. Oproti tomu má dobrou slévateľnost, stálobarevnost a otěruvzdornost. Standardní použití je při výrobě nových vozidel.

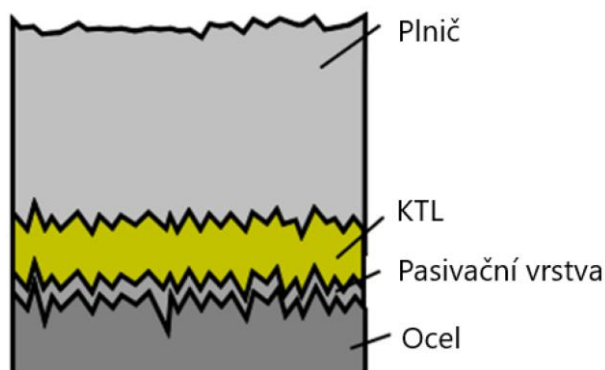
#### ***Rozpouštědlem ředitelné laky***

Oproti předchozímu laku z důvodu těkavých rozpouštědel má podstatně vyšší ekologickou zátěž, taktéž i skladování a logistická obsluha je podstatně komplikovanější, ovšemže tyto nevýhody dobře vyrovnává lepšími vlastnostmi laku. [5]

### **2.2.4 Aplikace základní vrstvy (Primer coat)**

První robotické lakování probíhá u základní vrstvy, která je označována taktéž jako „primer coat“, popřípadě plnič, či „základovka“. Pochopitelně se standardně aplikuje pomocí elektrostatických aplikace, kdy se dosahuje standardních rozsahů tlouštěk 20 až 40  $\mu\text{m}$ , viz obrázek č. 10. Elektrostatické aplikační zařízení vytváří velmi silné magnetické pole, které se snaží změnit polaritu stříkaného laku na zápornou, který je následně pomocí elektromagnetického pole přitahováno k uzemnění k lakovanému dílci karoserie. Nabité částice laku se pohybují ve směru silnic elektrického pole a s minimálními ztrátami se

nanáší na povrch stříkaného dílce. Velká výhoda této aplikace je kromě velmi vysoké účinnosti i velmi vysoká opakovatelnost, která hraje velmi významnou roli ve výsledné lakovací kvalitě.

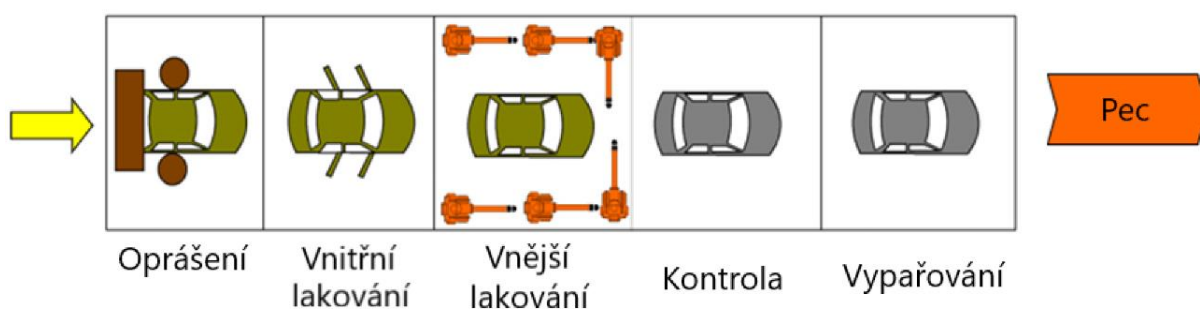


Obr. č. 10 – Vrstvy po aplikaci primeru [12]

Standardně se využívají 1K i 2K barvy, ať už vodou nebo rozpouštědlem ředitelné barvy.

Samotný proces obsahuje tyto kroky (viz. obrázek č. 11):

1. Odebrání nečistot – pomocí peří dojde k očištění lakované karoserie, postup je podobný jako v myčce na auta (viz obrázek č. 12)
2. Zalakování interiéru – vnitřní část dveří, vnitřní části, motorový prostor a kufr. Roboticky nebo manuálně pomocí operátorů.
3. Zalakování exteriéru – vnější části karoserie, realizováno pouze roboticky.
4. Kontrola kvality – vizuální kontrola mokrého laku.
5. Vysušení – vypaření zbytkové vody jako rozpouštědla z laku, tento krok není potřeba u rozpouštědlem ředitelných laků.



Obr. č. 11 – Celý proces aplikace primeru [12]



Obr. č. 12 – Proces očištění karoserie před aplikací primeru ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3]

Hlavním úkolem této vrstvy je zvýšení přilnavosti následné vrstvy, čímž se zabraňuje odloučení následné vrstvy, elasticita, které pomáhá s nárazy při kontaktu s karoserií v provozu a v neposlední řadě zlepšuje i vzhled následné vrstvy, obzvláště hladkost.

### 2.2.5 Aplikace barevného laku (Base coat) a vrchního čirého laku (Top/Clear coat)

V tomto kroku se pomocí robotů aplikuje barevný lak, někdy označován jako „base coat“, a následně se aplikuje vrchní čirý lak, který je označován jako „top/clear coat“, všechna čtyři lakování jsou zrealizována před vstupem do pece. V tomto dvojprocesu je postup následující (viz obrázek č. 13):

1. Odebrání nečistot – znovu dojde pomocí peří k očištění lakované karoserie.
2. Zalakování interiéru barevným lakem – vnitřní část dveří, vnitřní části, motorový prostor a kufr, vše realizováno pouze roboticky.
3. Zalakování exteriéru barevným lakem – vnější části karoserie, realizováno pouze roboticky.
4. Zalakování interiéru čirým lakem – vnitřní část dveří, vnitřní části, motorový prostor a kufr, vše realizováno pouze roboticky.
5. Zalakování exteriéru čirým lakem – vnější části karoserie, realizováno pouze roboticky.

6. Vypálení laku – vypaření zbytkové vody jako rozpouštědla z laku, tento krok není potřeba u rozpouštědlem ředitelných lacích. [12]



Obr. č. 13 – Proces aplikace barevného a čírého laku. [12]

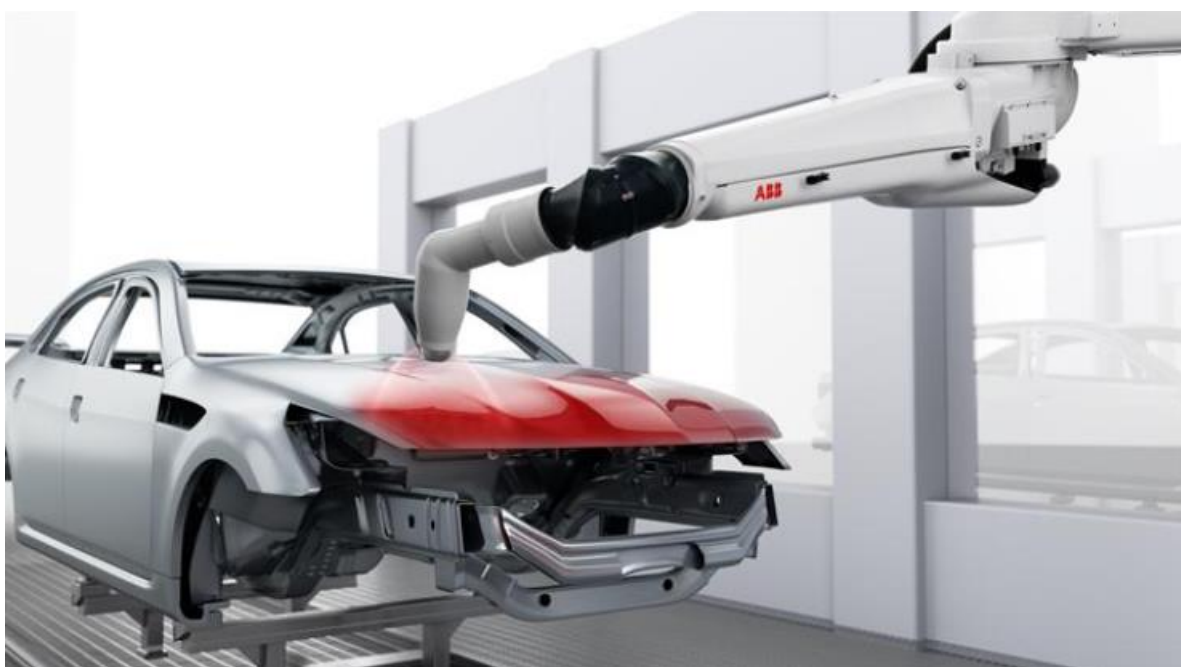
Celý proces je kategorizován podle počtu nánosů a následného vypálení, nejběžnější jsou například 3L2P (3x lak, 2x pec), 2L2P (2x lak, 2x pec), 4C2B (4x lak, 2x pec).

#### **Barevný lak – base coat**

Nanášení barevné vrstvy následuje po kroku s aplikací plniče. Tato vrstva se stará o vizuální vlastnosti laku, požadovaných efektů a kvality povrchu. Obvykle se lakuje v tloušťce okolo 20 až 30  $\mu\text{m}$ . Standardně se dělí do 3 typů podle použitého pigmentu:

1. Klasická barva – neobsahuje žádný další efekt kromě barevného zbarvení, díky čemuž se jedná o nejjednodušší typ barvy, který lze použít. Její široké využití lze nalézt od motocyklů, osobních vozidel přes nákladní automobily až po stavební stroje a letadla. Do počátku 90. let nebyla používána další vrstva, takže tato vrstva byla poslední.
2. Metalické barvy – kovové barvy obsahují hliníkové vločky, které vytvářejí jiskřivý a zrnitý efekt, obecně označovaný jako „kovový vzhled“. Tato barva je hůře aplikovatelná než klasické barvy, což je třeba mít na paměti během plánování lakování, poněvadž metalické i perleťové barvy musí být nanášeny rovnoměrně, aby byl zajištěn konzistentně vypadající povrch, bez světlých a tmavých skvrn, v praxi obvykle označované jako „mramorování“. Metalické nátěry jsou aplikovány tak, aby hliníkové vločky byly rovnoběžné s podkladem, čímž se maximalizuje metalický efekt. Samotné náhodné natočení hliníkových vloček, pokud je jejich osa rovnoběžná s podkladem, se zablokuje i v době, kdy je v laku ještě dostatečné množství rozpouštědla nebo vody. Princip je takový, že krátce po nanesení barevné vrstvy se zvýší její viskozita, takže hliníkové vločky, které jsou po nástřiku v náhodném směru, se v této poloze uzamknou, zatímco v povlaku je stále ještě velké množství rozpouštědla (nebo vody). Následné odpaření rozpouštědla (nebo vody) vede ke zmenšení tloušťky vrstvy povlaku. Výběr následného čírého nánosu musí být pečlivě zvolen, poněvadž nesmí docházet k opětovnému rozpouštění, čímž by mohlo dojít ke změně uspořádání hliníkových vloček.

3. Perleťové barvy – obsahují speciální duhové pigmenty, které se běžně označují jako „perly“. Perlové pigmenty dodávají povrchu barevnou jiskru, která vytváří hloubku barev. Perleťové barvy mohou být aplikovány ve dvou provedeních:
- a. dvoustupňové – perleťová barva + čirý vrstva
  - b. třístupňová – klasická barva + perleťová mezivrstva + čirá vrstva

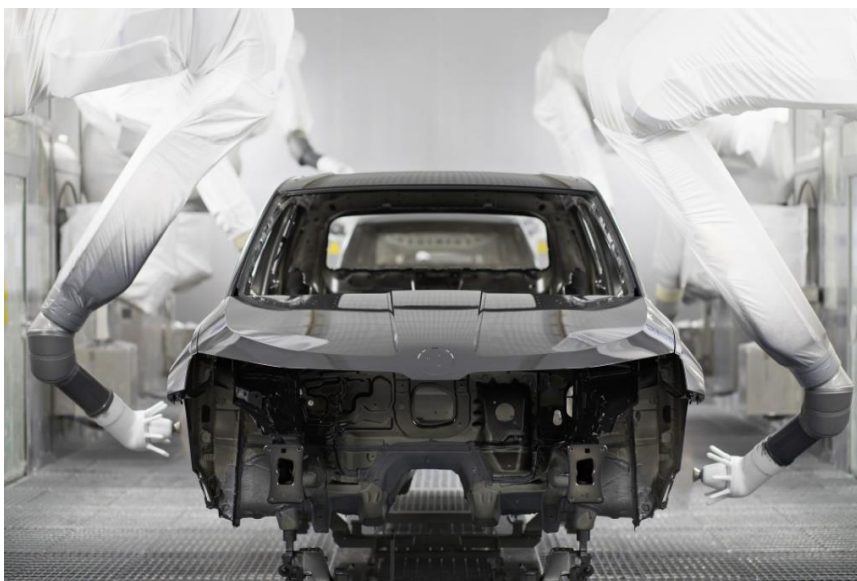


*Obr. č. 14 – Aplikace červeného base coatu pomocí robotu ABB [12]*

#### **Čirý lak – top/clear coat**

Čirý lak se standardně aplikuje na vrstvu s barevným lakem. Jedná se o lesklý a transparentní povlak, který tvoří konečné rozhraní mezi lakem a okolním prostředím. Z tohoto důvodu je kladen důraz na jeho vlastnosti, hlavně na transparentnost, dobré mechanické vlastnosti, zejména otěruvzdornost a pevnost, taktéž musí být dostatečně chemicky stabilní, aby barevný základ uchránil před UV zářením a kyselými dešti. Čirý lak se vyskytuje ve dvou provedeních – ředitelný rozpouštědlem nebo vodou. Nicméně lze dělit i na jednosložkové a dvousložkové (1K a 2K). Číré laky pro výrobce automobilů, které se používají na kovové dílce karoserií automobilů, jsou obvykle jednosložkové, a pro vytvrzení je potřeba zahřát je přibližně na 140 °C. Číré laky používané na plastové části, jako jsou například nárazníky nebo zpětná zrcátka, jsou však dvousložkové, díky čemuž dochází k vytvrzení již při cca 90 °C.





*Obr. č. 15 – Aplikace clear coatu ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3]*

### **2.2.6 Opravné práce**

I přes velmi vysokou úroveň sofistikace celkového procesu lakování nelze na 100 % vyloučit potenciální komplikace vzniklé defektem nátěrů. Standardně lze tyto defekty rozdělit na dvě části – přítomnost nečistoty na karoserii vozidla, obvykle prach, popřípadě jiná nečistota anebo špatná kvalita aplikace vrstev laku. Je třeba si uvědomit, že takovéto komplikace jsou obvykle velmi těžce patrné okem laika a personál pracující v této části lakovací linky je profesionálně školený na nalezení veškerých chyb. Pro představu se standardně nejedná o škrábance nebo třeba místa bez naneseného laku a celá chybička se řeší obvykle vyleštěním daného místa elektrickou bruskou se speciálním nástrojem, který nesmí poškodit lak, ale pouze danou chybou napravit – celý proces lze vidět na obrázku č. 16 níže.

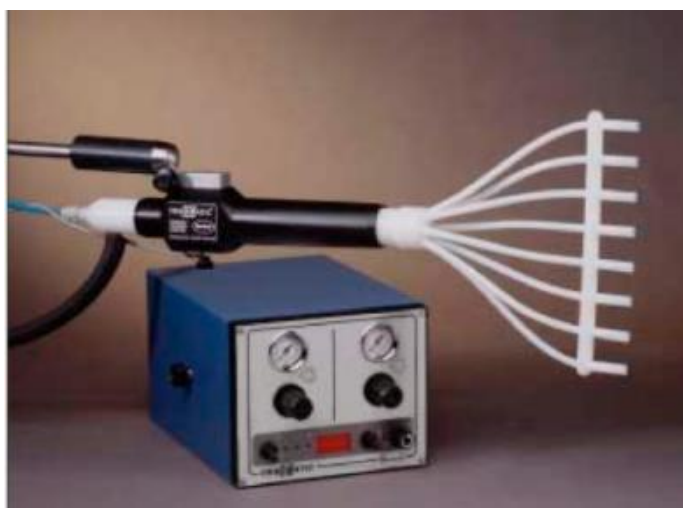


*Obr. č. 16 – Opravné práce na laku nových vozidel ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3]*



### 2.2.7 Budoucnost lakování – elektrostatické práškové lakování s HDLV aplikací

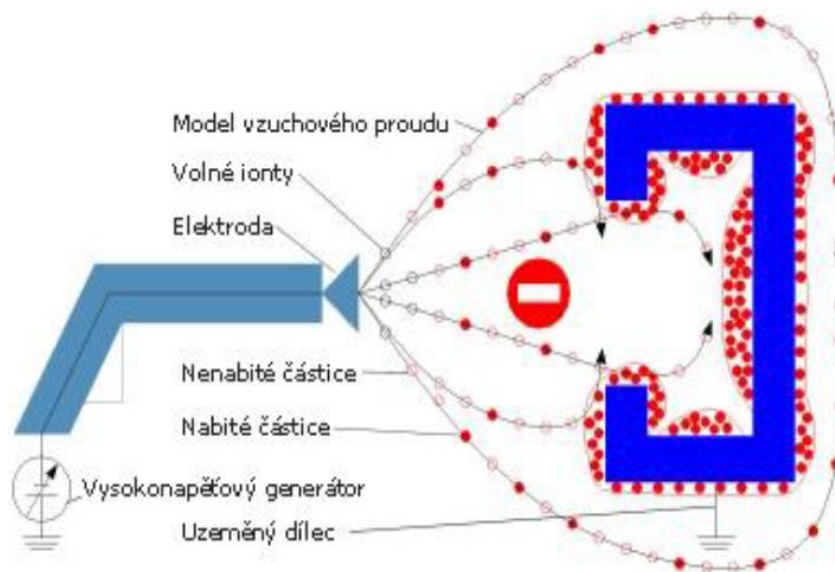
Z historického hlediska bylo dříve mokré než práškové lakování, poněvadž první známky o práškovém lakování se datují až okolo 40. až 50. let minulého století, kdy úplně první metoda nanášení spočívala v tom, že organické polymery ve formě prášku byly nanášeny na kovové podklady pomocí žárového stříkání. Díky následnému vývoji došlo k rozšíření technologie elektrodynamického práškového lakování, neboli Tribo, u kterého probíhalo nabíjení prášku pomocí třecích plošek situovaných v práškových hadicích mezi čerpadlem a aplikační pistolí. Velká nevýhoda byla nepřesné nabíjení prášku, velmi vysoké provozní náklady (kvůli opotřebování nabíjecích plošek), nicméně právě díky méně účinnému nabíjení v rozvodech práškových hadic mohla být aplikační technologie vybavena namísto práškové pistole tzv. hráběmi, které velmi pomáhaly se zalakováním geometricky komplikovaných dílců (oproti dnešní době bylo velké množství výstupů aplikační technologie, viz obrázek č. 17).



Obr. č. 17 – Aplikační technologie Nordson Tribo hrábě [8]

Díky technologickému rozvoji se podařilo vyvinout elektrostatickou aplikační technologii, u které je také prášek transportován pomocí čerpadla, nicméně oproti „hrábím“ k aplikační pistolí, která je na svém konci vybavena elektrodou, která vytváří velmi silné elektromagnetické pole (až 100 kV), což způsobuje ionizaci vzduchu proudícího pistolí. Při průchodu nátěrového prášku tímto ionizovaným vzduchem se přichytí volné ionty na částice prášku, čímž se prášek nabije záporným nábojem. Tento prášek se snaží uzemnit (vrátit se zpátky na neutrální stav), takže elektromagnetickým působením je směřován na uzemněný kovový dílec (viz obrázek č. 18). Tento proces se nejjednodušeji aplikuje na kovové dílce, nicméně lze jej upgradovat i na elektrostatické lakování nevodivých dílů, například MDF desky pro kuchyňský sektor – aplikační technologie zůstane stejná, pouze se za lakovaný dílec (ve směru

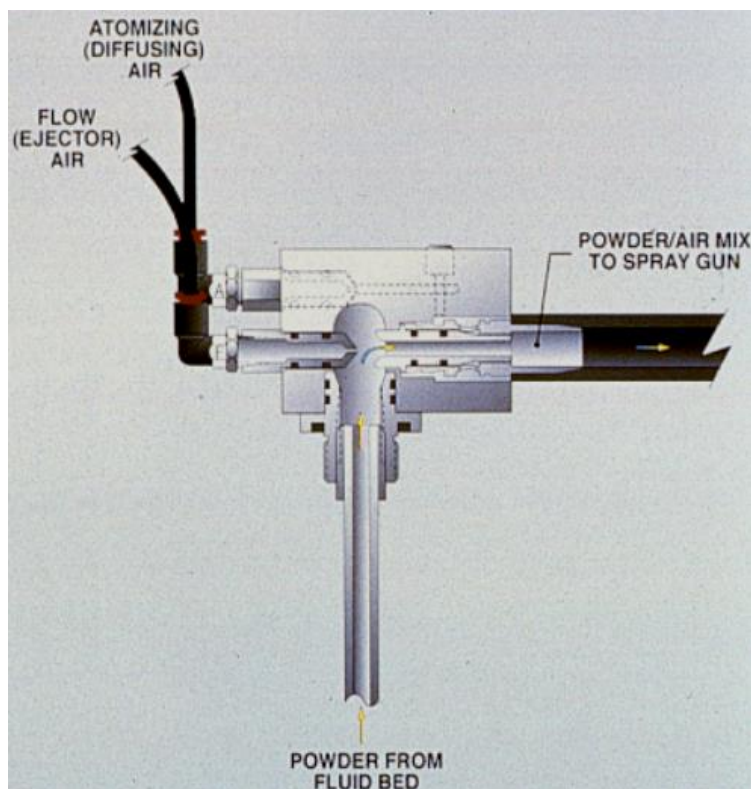
od lakovací pistole) umístí zemnicí tyč, čímž znovu vznikne elektromagnetické pole mezi pistolí a zemnicím dílcem, ke kterému se snaží nanášecí prášek dostat, nicméně se nanese na lakovanou desku.



Obr. č. 18 – Princip nabíjení elektrostatické práškové pistole [7]

#### **Venturi princip práškového čerpadla**

Od prvopočátku práškové aplikace dochází k transportu fluidizovaného prášku pomocí Venturi principu, který lze jednoduše popsat na obrázku č. 19 – tlakový vzduch vstupuje do čerpadla zleva a prochází celým čerpadlem horizontálně, což ve spoji s vertikálním připojením, které jde od zásobníku s fluidizační podložkou, vytváří podtlak, díky kterému si procházející tlakový vzduch přisává zfluidizovaný prášek, čímž dochází ke transportu prášku do aplikační pistole. Komplikace, která je v tomto systému, spočívá v tom, že, na našem obrázku na pravé straně od spoje (ve chvíli, kdy dojde ke spojení cest tlakového vzduchu a prášku), se vkládá do tohoto prostoru plastová vložka, která má za účel zabránit nánosům prášku na tělo čerpadla. Nicméně v praxi dochází k vymílání této vložky díky velmi abrazivním vlastnostem práškové barvy, což značně ovlivňuje parametry práškového oblaku => nízká opakovatelnost, jelikož v aktuálním čase nelze znát aktuální opotřebení vložky, takže nelze predikovat parametry práškového oblaku. Toto je hlavní limit této technologie, díky čemuž nelze garantovat požadovanou tloušťku vrstvy laku. Další nevýhody jsou častější odstávky stroje pro výměnu plastové „fixírky“, nemožnost oddělení množství tlakového vzduchu od množství prášku (pokud je třeba velké množství barvy, nelze jej transportovat s nízkým množstvím vzduchu, což ve finále způsobuje sfoukávání naneseného prášku) a ve finále i nízká výtěžnost – standardní lakovací výkon na jednu pistoli je okolo 0,75 až 1 m<sup>2</sup>/min.



Obr. č. 19 - Princip Venturi pumpy [9]

#### **HDLV Aplikace [10]**

Další metou v technologickém pokroku bylo v roce 2004 vyřešení těchto základních komplikací, které čerpadla s Venturi systémem obnáší. Jak bylo popsáno výše, klasická venturi čerpadla pro svoji funkci vyžadují velký objem tlakového vzduchu, jehož pomocí nasávají fluidizované práškové nátěrové hmoty, které pak poměrně velkou rychlostí transportují k aplikačním pistolím. Koncentrace prášku v transportním vzduchu je malá. Injektory venturi čerpadel podléhají rychlému opotřebení, v důsledku čehož dochází k rychlé změně čerpaného množství a následně k nestabilitě celého aplikačního systému.

Jedním ze zásadních úkolů při vývoji čerpadel typu HDLVTM bylo tyto nevýhody odstranit. Nová čerpadla pracují na úplně jiném principu. Jsou vybavena dvěma komorami, které jsou střídavě plněny pomocí podtlaku, který je generován v obslužném modulu čerpadla, a vyprazdňovány pomocí injekce malého množství tlakového vzduchu. Tímto způsobem je možno práškové nátěrové hmoty spolehlivě čerpat v husté směsi s transportním vzduchem. Tento typ čerpadel nemá rychle opotřebitelné součástky, což zajišťuje vysokou a dlouhodobou stabilitu jejich funkce. Konstrukce čerpadel navíc umožňuje snadné a efektivní pneumatické čištění, které je velmi důležité zejména u systémů, u kterých je vyžadována rychlá a spolehlivá změna barevných odstínů. Firma Nordson navíc pro tato čerpadla vyvinula digitální systém řízení, který umožňuje velmi přesnou lineární regulaci jejich výkonu. Výsledkem je pak možnost dosažení velmi přesného a dlouhodobě stabilního dávkování aplikovaného množství práškové nátěrové hmoty. Čerpadla HDLV<sup>TM</sup> jsou též vhodná pro transport většího objemu práškových nátěrových hmot. Nová

transportní čerpadla HDLV™ zajišťují efektivní recyklaci a doplňování čerstvé práškové nátěrové hmoty u všech systémů.



Obr. č. 20 – Rozdělané HDLV pistolové čerpadlo Nordson Encore<sup>HD</sup> [10]

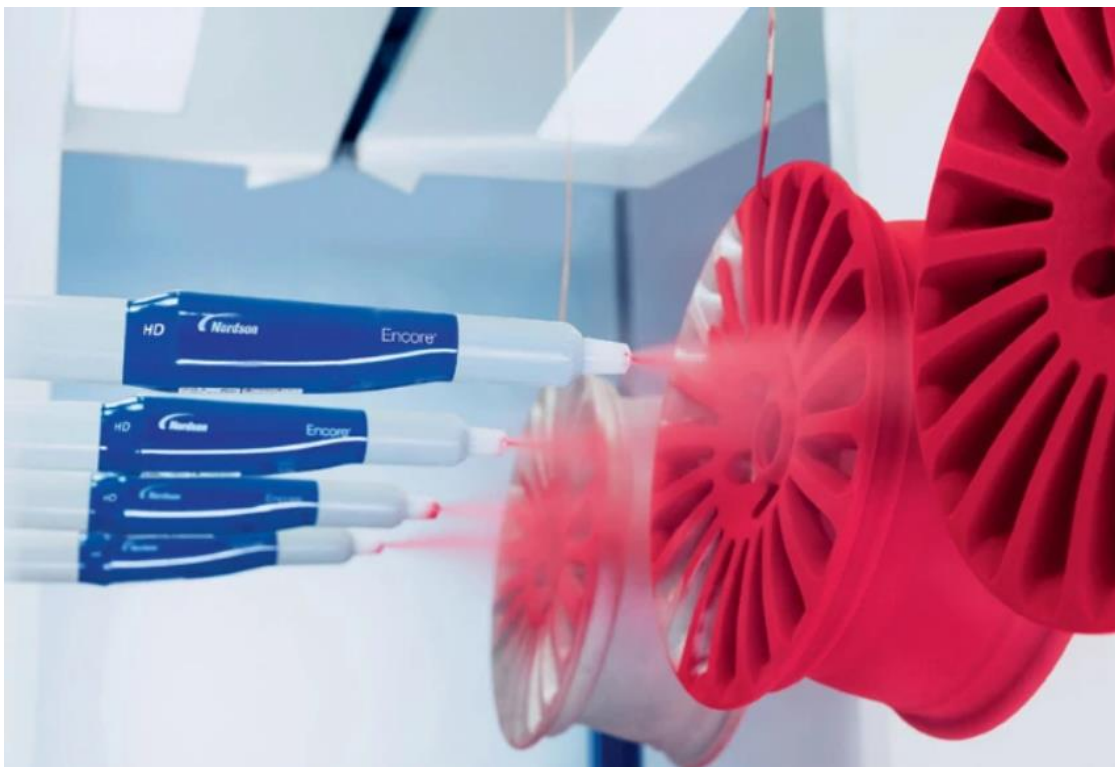
Nová technologie HDLV™ dává silný podnět ke komplexnímu rozvoji systémů pro práškové lakování. Firma Nordson současně s vývojem nové řady čerpadel HDLV™ 3. generace vyvinula novou řadu aplikačních elektrostatických pistolí typu Encore<sup>HD</sup>. Tyto pistole jsou schopny využít veškerých výhod nové technologie čerpání a poskytují svým uživatelům mnohé výhody. Lze kupříkladu snížit průměry podávacích potrubí a hadic. Potrubí pro přepravu práškových nátěrových hmot pomocí technologie HDLV™ mají typicky vnitřní průměr 6 mm, což je podstatný rozdíl ve srovnání s průměrem 12 mm, který je běžný pro venturi systémy. Poloviční průměr znamená čtyřikrát menší vnitřní objem přepravního systému, který musí být vyčištěn při změnách barevných odstínů.

Ještě více důležitý je fakt, že nová technologie umožňuje vzájemně oddělit regulaci množství transportované práškové nátěrové hmoty a rychlosti jejího rozprašování. Je tak zejména umožněna aplikace práškových nátěrových hmot při nízké rychlosti proudění, což podstatnou měrou zvyšuje účinnost nanášení a zlepšuje penetraci do tvarově složitých partií lakovaných výrobků. Ve svém důsledku pak použití této technologie radikálně snižuje spotřebu práškových nátěrových hmot a zvyšuje celkovou ekonomickou efektivnost provozu lakoven.

Výhody nové technologie lze shrnout následovně:

- stabilní výkon v širokém rozmezí přepravovaného objemu PNH – rozšíření pro robotické aplikace
- zvýšená účinnost nanášení
- snížená spotřeba PNH
- zlepšená distribuce a rovnoměrnost PNH

- snazší obsluha a provoz zařízení
- zvýšená produktivita zařízení
- rychlejší záměna barevných odstínů
- nižší náklady na údržbu
- přesnější řízení celého procesu aplikace PNH
- velký rozsah výkonu pistolí
- lineární charakteristika systému
- snazší údržba
- nižší spotřeba náhradních dílů



*Obr. č. 21 – Aplikační pistole Encore<sup>HD</sup> [10]*

### 3 SOUČASNÝ STAV A FORMULACE CÍLŮ PRÁCE

Poškození laku může být dvojího typu – estetické a ztráta ochranné funkce karosérie.

1. Estetické poškození je obvykle způsobeno vizuálním poškozením laku – degradace UV zářením, ztráta lesku, barevnosti nebo speciálních efektů.
2. Ztráta ochranné funkce karosérie z důvodu poškození laku – v případě fyzického poškození laku dochází ke ztrátě jeho ochranných schopností karosérie, čímž může docházet k rapidnímu snížení estetických i funkčních vlastností karosérie vozidla.

#### 3.1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

##### 3.1.1 Estetické poškození laku

Z výsledků diplomové práce p. Ing. Tomáše Bílka z roku 2017 na téma Vliv znečištění vozidla ptačím trusem na míru poškození laku je patrné, že k estetickému poškození laku může docházet podstatně dříve, než má majitel vozidla šanci něco takového vůbec zaznamenat. Je to způsobené tím, že standardně dochází k poškození horní vrstvy, která má za úkol chránit barevnou část, která je pro estetické vlastnosti ta nejdůležitější. Po jejím poškození dochází k rychlému degradování estetických vlastností karosérie.

Experiment pana Ing. Bílka trval celkem 22 týdnů, byl proveden na dvou víkách motorového prostoru a každé víko bylo rozděleno na 4 pole. Dvě pole byla ošetřena voskem na zvýšení ochrany laku karosérie a dvě byla ponechána bez úpravy voskem. Následně bylo na dvě plochy (jedna s úpravou voskem, jedna bez úpravy) aplikován ptačí trus, který nebyl odebrán celých 22 týdnů. Druhá část byla aplikace ptačího trusu na zbylé dvě plochy, ale k záměně trusu docházelo každý týden. Výsledky úbytku jsou následující:

- Pro neupravené laky s týdenním cyklem záměny trusu oproti původním tloušťkám laku ubylo 29  $\mu\text{m}$ , respektive 6  $\mu\text{m}$ .
- Pro neupravené laky s neměnným trusem oproti původním tloušťkám laku ubylo 6  $\mu\text{m}$ , respektive 3  $\mu\text{m}$ .
- Pro upravené laky voskem s týdenním cyklem záměny trusu oproti původním tloušťkám laku ubylo 14  $\mu\text{m}$ , respektive 3  $\mu\text{m}$ .
- Pro upravené laky voskem s neměnným trusem oproti původním tloušťkám laku ubylo 3  $\mu\text{m}$  pro obě testovací karosérie. [5]



### 3.1.2 Mechanické poškození laku

Na základě výsledků měření v diplomové práci Ing. Martina Kapasného z roku 2014 na téma Využití záměrných poškození vozidel v soudním inženýrství je zřejmé, že může dojít k poškození i silných vrstev laku (přes 250  $\mu\text{m}$ ) bez nadměrně vynaloženého úsilí. Během svých experimentů provedl několik pokusů s běžně dostupnými nástroji (150 g kladivo, klíče, líže na obouvání bot atd.) a u většiny se mu podařilo poškodit až na základní vrstvu běžnou manipulací, což je patrné i na dvou obrázcích č. 22 a č. 23 níže. [21]



Obr. č. 22 – Mechanické poškození laku malým kladivem [21]



Obr. č. 23 – Mechanické poškození laku klíčem [21]

### 3.2 FORMULACE CÍLŮ PRÁCE

Při každodenním využívání motorového vozidla může kdykoli nastat situace, kdy dojde ke kontaktu povrchu lakovaných dílů s různými látkami nebo tělesy. Například při běžném tankování motorových hmot, při doplňování močoviny pro naftová vozidla, jízdou v zimním období, kdy jsou silnice posoleny. Dále také při ostříkání oken vozidla kapalinou do ostřikovačů. Při nevhodné manipulaci se slazeným nebo alkoholickým nápojem. Z tohoto důvodu se diplomová práce zaměří poškození laku, respektive jeho degradaci, po kontaktu s běžnými chemickými látkami. Experiment bude proveden na dvou identických lakovaných dílech (horní víka motorového prostoru). Obě víka prošla manuálním lakováním všech vrstev od KTL.

Stanovení cílů:

1. Provést rešerši používaných technologií pro povrchové úpravy karoserií vozidel.
2. Vybrat chemické sloučeniny, se kterými se uživatel vozidla dostane do běžného kontaktu.
3. Navrhnout a realizovat vlastní experiment.
4. Vyhodnotit výsledky experimentu a provést srovnání výsledku s předchozími pracemi.



## 4 PŘÍPRAVA A REALIZACE EXPERIMENTU

### 4.1 TESTOVACÍ KAROSERIE – HORNÍ VÍKO MOTOROVÉHO PROSTORU

Experiment byl realizován na dvou totožných dílech karoserie, které byly poskytnuty od ÚSI VUT Brno. Jednalo se o horní víka motorového prostoru. Jedno víko bylo lokalizováno v temperovaném prostředí se stálou teplotou prostředí 18 °C a s relativní vlhkostí okolo 55 %. Druhá byla umístěna pod přístřeškem => s přístupem okolního vzduchu, čímž bude proměnlivá teplota i vlhkost během celého pokusu. Testování začalo ve dne 22. 4. 2021 a bylo ukončeno dne 27. 5. 2021.

#### 4.1.1 Povrchová úprava testovaných dílců karoserie

Testovací víka byla zapůjčena po předchozím výzkumu ÚSI VUT Brno, kdy zcela nové dílce, pouze se základní povrchovou úpravou (kataforickém lakování), ručně zalakovali dvěma rozdílnými technologiemi, nicméně s velmi podobnými výslednými tloušťkami laku.

##### ***Víko motorového prostoru zalakované laky Spies Hecker***

Jako první vrstva byl aplikován Permasolid HS Vario základový plnič 5340 – univerzální základový plnič s vysokým obsahem pevných částic, který byl smíchán v poměru 5:1 s Permasolid VHS tužidlem 3230 dlouhé. Aplikace byla s pistolí HVLP s výslednou tloušťkou 30 až 50 µm suché vrstvy.

Barevný odstín byl aplikován Permahyd Hi-TEC podkladový lak 480 – vodou ředitelný podkladový systém s možností namíchání všech metalických i nemetalických barev. Aplikace taktéž proběhla HVLP pistolí s WSB tryskou a výslednou tloušťkou suché vrstvy 10 až 20 µm.

Horní vrstva byla zalakovaná Vrchním průhledným lakem Permasolid HD 8055 s vysokým leskem. Míchací objemový poměr byl 3:1 se stejným tužidlem jako první vrstva – Permasolid VHS tužidlo 3230 dlouhé. Aplikační technologie byla opět HVLP pistole a výslednou vrstvou 50 až 70 µm suché vrstvy.

##### ***Víko motorového prostoru zalakované laky Standox***

Základový plnič byl použit Standox VOC Nonstop základovací plnič U7580 s vynikajícími antikorozními a přilnavostními vlastnostmi. Smíchán byl v poměru 5:1 se Standox VOC tužidlem. Aplikace byla taktéž s pistolí HVLP s výslednou tloušťkou 30 až 50 µm suché vrstvy.

Lak Standoblue Basecoat byl aplikován jako barevná vrstva s excelentním rozstříkem. Smícháno v poměru 4:1 se Standoblue Viscosity Adjuster. Aplikace taktéž proběhla HVLP pistolí s výslednou tloušťkou suché vrstvy 10 až 25 µm.

Na poslední horní vrstvu bylo k lakování použito Stnadocryl VOC Xtra Clear K956 s mimořádným leskem a rozlivem. Míchací objemový poměr byl 3:1 s tužidlem Stnadex VOC 10-20. Aplikační technologie byla opět HVLP pistole a výslednou vrstvou 50 až 70  $\mu\text{m}$  suché vrstvy.

#### 4.1.2 Volkswagen Golf 7

K testům byly poskytnuty jako testovací vzorky díly karoserie z vozidla VW Golf 7. generace vyráběného v roce 2012 až 2019 (s interním označením A7).



Obr. č. 24 – VW Golf [20]

## 4.2 POUŽITÉ CHEMICKÉ SLOUČENINY

Chemické sloučeniny byly vybrány podle četnosti kontaktu běžného uživatele s takovouto sloučeninou a samozřejmě i na základě možného nechtěného vylití dané kapaliny na karosérii vozidla – během doplňování pohonných hmot na čerpací stanici, popřípadě AdBlue, roztoku do ostřikovačů (zde je zcela běžný kontakt s karosérií), posypovou solí během zimního období (zde je zcela běžný kontakt s karosérií), slazeným nápojem a alkoholem.

### Vzorek 1 - Benzín

Benzín (též benzin) je kapalina ropného původu používaná hlavně jako palivo v zážehových spalovacích motorech, ale i jako rozpouštědlo, zejména pro ředění nátěrových hmot. Skládá se především z alifatických uhlovodíků získávaných frakční destilací ropy, s přídavkem isooktanu nebo aromatických uhlovodíků toluenu a benzenu ke zvýšení oktanového čísla. Běžně se přidávají také malá množství různých aditiv, například pro zlepšení výkonu motorů a snížení škodlivých emisí. Některé směsi mohou obsahovat významné množství ethanolu jakožto částečně alternativního paliva.

Benzin se vyrábí v ropných rafineriích. Materiál, který se získá oddělením ze surové ropy destilací, nazývaný „panenský“ nebo přímý benzin (přímý ropný destilát), nesplňuje požadavky pro moderní motory (zvláště oktanové číslo), používá se jako součást směsi. Základ typického benzínu je tvořen

uhlovodíky se čtyřmi až dvanácti atomy uhlíku v molekule. Mnoho uhlovodíků se považuje za nebezpečné látky a podléhá proto regulaci. Bezpečnostní list bezolovnatého benzinu ukazuje nejméně patnáct nebezpečných chemikálií v různých množstvích – včetně benzenu (až 5 % objemově), toluenu (až 35 %), naftalenu (až 1 %), trimethylbenzenu (až 7 %), MTBE (v některých státech až 18 %) a asi deseti dalších. Každá ze složek, které se při výrobě benzinu mísí dohromady, má jiné charakteristiky. Mezi důležité složky patří:

- reformát – vyrábí se v katalytickém reformátoru, má vysoké oktanové číslo, vysoký obsah arenů a málo alkenů
- katalyticky krakovaný benzin nebo katalyticky krakovaná nafta – vyrábí se v katalytickém krakeru, má menší oktanové číslo, vysoký obsah alkenů a mírný obsah arenů
- hydrokrakát (těžký, střední a lehký) – vyrábí se v hydrokrakeru, má střední až nízké oktanové číslo a mírný obsah aromatických uhlovodíků
- panenský čili přímý naftový destilát – destiluje se přímo ze surové ropy, má nízké oktanové číslo, nízký obsah arenů (v závislosti na složení surové ropy), obsahuje určité množství naftenů (cykloalkanů) a žádné olefiny (alkeny)
- alkylát – vyrábí se v alkylační jednotce, má vysoké oktanové číslo a jedná se o čisté alkany, především s rozvětvenými řetězci
- izomerát – získává se izomerizací pentanu a hexanu v lehkém přímém destilátu, s cílem získat vysokooktanové izomery.

Celkově je typický benzin především směsí parafinů (alkanů), naftenů (cykloalkanů) a olefinů (alkenů). Přesné poměry závisí na 3 aspektech:

- rafinerii, která benzin vyrábí; různé rafinerie mají různé výrobní jednotky
- surové ropě použité pro výrobu
- cílové třídě benzinu, zvláště oktanovém čísle.

V současné době mnoho zemí určuje limity celkového obsahu arenů (zvláště benzenu) a alkenů. Takové regulace vedly k preferenci vysokooktanových alkanových složek, například alkylátů, a nutí rafinerie přidávat procesní jednotky ke snižování obsahu benzenu.

Benzin může obsahovat i další organické sloučeniny, například ethery (přidávané úmyslně), a malá množství různých kontaminantů, zejména sloučenin síry, například disulfidů a thiofenů. Některé kontaminanty, hlavně thioly a sulfan, se musí odstraňovat, protože způsobují korozi motorů. Sloučeniny síry se obvykle odstraňují převodem na sulfan, které lze poté transformovat na elementární síru pomocí Clausova procesu. [11]

## **Vzorek 2 - Motorová nafta**

Motorová nafta (zjednodušeně pouze nafta, hovorově též diesel) je směs kapalných uhlovodíků. Získává se destilací a rafinací z ropy, obvykle při teplotách 150–370 °C. Kvalita motorové nafty se udává cetanovým číslem, které vyjadřuje její vznětovou charakteristiku. Motorová nafta slouží (mimo jiné) jako palivo pro vznětové motory. Pozor si musejí dávat řidiči především v zimě. Nafta může na rozdíl od benzínu zatuhnout. Benzín obsahuje uhlovodíky aromatického charakteru a rozvětvené uhlovodíky, které mají velmi vysoká oktanová čísla a současně mají i velmi dobré nízkoteplotní vlastnosti, takže u benzínu zamrzání nehrozí. U motorové nafty je to naopak, protože aby byla kvalitní, tak musí obsahovat právě delší řetězce nerozvětvených uhlovodíků, mezi které patří parafinické uhlovodíky, které trpí tím problémem, že při nízkých teplotách vytvářejí krystaly, a tím tak způsobují "zamrzávání" – ve většině vratný proces parafinace nafty. V letním období stačí vyrábět naftu, která může mít horší nízkoteplotní vlastnosti. V období od poloviny listopadu až do konce února je pak vyráběna klasická zimní motorová nafta, která musí splňovat daná kritéria, aby se nevytěšňovaly už dříve zmíněné parafinické látky. Pokud tedy prodejce nakoupí ve správný okamžik správnou naftu, rafinérie jsou na to připraveny už s předstihem, tak by k žádnému problému nemělo dojít. Provozovatel čerpací stanice by měl před zimním obdobím nádrží dobře odkalit. To samé se týká i motoristy, aby neměl vodu v nádrži. Na zimu se může připravit tím, že si na čerpacích stanicích koupí určité chemické prostředky, které se přidávají do paliva, a které způsobí, že se voda v palivu lépe rozpustí, a tak nezpůsobuje problémy ve formě ledových krystalků. Ledové krystalky totiž mohou, stejně jako parafín, ucpat palivový filtr a auto se nerozjede. V případě ledu pomůže filtr ohřát, u parafínu to 100% úspěch znamenat nemusí a filtr je lépe vyměnit.

Předepsanou kvalitu motorové nafty určuje norma ČSN EN 590. Ta udává mj. destilační křivku, bod vzplanutí, obsah síry, povinný obsah bio složky FAME / MEŘO (aktuálně na základě 98/70/EG do 7 %), vody, nečistot a cetanové číslo (aktuálně min. 51). Armádní označení NATO F-54, S50 s do 50 ppm síry a do 5 % FAME. Americký ekvivalent norma ASTM D975 – ULSD (Ultra Low Sulphur Diesel) povoluje obsah FAME také do 5 %. Ve světě je možné se setkat pro ULSD s označením City Diesel = palivo se sníženým obsahem síry, aromatických uhlovodíků a zvláštní technologií rafinace, popř. chemickými přísadami, které v konečném důsledku mají přinést nižší emise motoru pro zlepšení ovzduší zvláště ve městech.

Směsná motorová nafta (řidčeji SMN, SMN 30 nebo Eko diesel) je motorové palivo, které je vyráběno z klasické fosilní motorové nafty (69 %) a biosložky MEŘO (31 %) dle normy ČSN 656508. SMN je volně mísitelná se standardní motorovou naftou. Díky daňovému zvýhodnění, které souvisí s celoevropskou podporou paliv z obnovitelných zdrojů, je SMN o cca 2,50–3,00 Kč/l levnější než klasická motorová nafta. SMN je volně mísitelná se standardní motorovou naftou, tudíž při tankování není nutné

brát ohled na to, zdali je v nádrži motorová nafta či nafta s příměsí biosložky. Pozor, někteří výrobci motorů klasifikují použití biopaliva jako porušení záručních podmínek. SMN má čisticí vlastnosti v palivové soustavě i ve vlastním motoru. V praxi to znamená, že rozpouští usazeniny vzniklé provozem na standardní motorovou naftu. To je ve výsledku pozitivní jev, nicméně je nutné věnovat větší pozornost stavu palivového filtru, kde se tyto nečistoty usazují a dále olejovému filtru, neboť při rozpouštění úsad v motoru část takto uvolněných úsad kontaminuje motorový olej a část úsad se vypustí ve výfukových plynech. Proto se doporučuje důslednější kontrola v obou systémech.

Dělení směsné motorové nafty podle použitelnosti v závislosti na klimatických podmínkách a její distribuce:

- Letní: třída B, filtrovatelnost 0 °C, distribuce: 15.04. – 30.09.
- Přejížděvací: třída D, filtrovatelnost –10 °C, distribuce: 01.10. – 15.11.
- Zimní: třída F, filtrovatelnost –20 °C, distribuce: 16.11. – 28.02.
- Přejížděvací: třída D, filtrovatelnost –10 °C, distribuce: 01.03. – 14.04.
- Arktická: filtrovatelnost –20 °C až –44 °C [14]

### **Vzorek 3 - Močovina AUS 32 (AdBlue)**

Močovina AUS 32 (AdBlue, registrovaná obchodní známka německého VDA) je v Evropě a zemích přejímajících evropské emisní limity používaný obchodní název kapalného aditiva, využívaného technologií selektivní katalytické redukce, která se užívá při úpravě výfukových plynů vznětových motorů na úroveň emisních limitů Euro IV a vyšších. Jedná se o chemicky vysoce čistý vodný roztok syntetické močoviny. Požadavky na roztok a jeho složení (32,5 % močoviny, 67,5 % vody = AUS 32 - Aqueous Urea Solution) jsou specifikovány v normě DIN 70070, respektive novější ISO 22241. Rostok má teplotu tuhnutí –11 °C a vzhledem k tomu bývá často na vozidlech určených do chladnějších podmínek užíván systém ohřevu nádrže, případně i vedení AdBlue chladicí kapalinou motoru nebo elektricky. V Americe je s počátkem platnosti emisních limitů EPA / CARB 2010 používán adekvátní produkt pod názvem DEF (Diesel Exhaust Fluid). AdBlue je vstřikováno před katalyzátor výfukových plynů, kde se močovina nejprve co nejrovnoměrněji mísí s výfukovými plyny, rozkládá se vlivem tepla za přítomnosti obsažené vody na amoniak ( $\text{NH}_3$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Amoniak dále na povrchu katalyzátoru (za podmínky přítomnosti chemického katalyzátoru na stěnách buněk tělesa katalyzátoru vytvořených pro maximální velikost reakční plochy) reaguje s oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), které vznikají za vysokých teplot při spalování nafty. Z výfuku pak místo většiny  $\text{NO}_x$  odchází neškodné přírodní produkty vodní pára a dusík. Spotřeba AdBlue je přibližně 3 až 7 % spotřebovaného paliva, přičemž vyšší hodnota se dá předpokládat u přísnějších emisních limitů. Běžná spotřeba kapaliny AdBlue u osobních automobilů je 0,8 až 1,2 litru na 1000 kilometrů. Spotřeba záleží na produkci  $\text{NO}_x$ , tedy na způsobu jízdy a klimatických podmínkách. Podmínkou uvedené reakce je dostatečná teplota výfukových plynů a vlastního katalyzátoru. Proto je

výfukový systém většinou vybaven čidly teploty na vstupu (někdy i výstupu) z katalyzátoru. Množství AdBlue je dávkováno až po dosažení potřebné teploty reaktoru v množství závislém na signálu tzv. NOx senzoru umístěného před, za, nebo na obou místech katalyzátoru podle použitého řízení systému, aby nedocházelo ke vzniku páchnoucích sloučenin čpavku, krystalizaci nadbytečné močoviny na výstupu z výfuku ani překročení legislativního limitu NOx při aplikaci malé dávky. Používány jsou rozličné systémy odměřující potřebné množství podle režimu práce motoru již v čerpací jednotce (transportním médiem do trysky může být stlačený vzduch) nebo až v trysce, což umožňuje chladit trysku větším průtokem AdBlue s přepadem zpět do nádrže. [19]



Obr. č. 25 – Modrý vršek umístěný vedle palivového přísunu pro tankování AdBlue [19]

#### **Vzorek 4 - Roztok do ostřikovačů**

Asi 80 % vjemů získává řidič zrakem. Proto je pro bezpečný výhled a řízení automobilu důležitá čistota skel vozidla. Na kvalitu očištění skla vozidla má vliv nejenom kvalita stěračů, ale také jakost kapaliny do ostřikovače skla. Kapaliny do ostřikovačů patří mezi tzv. sezónní provozní kapaliny a rozdělují se na letní a zimní. Letní kapaliny do ostřikovačů musí mít výborné čistící a odmašťující účinky, nesmí narušovat lak, plasty a pryžové části vozidel. Moderní letní kapaliny do ostřikovačů navíc zprostředkovávají tzv. efekt tekutých stěračů, kdy je voda za deště vlivem změny povrchového napětí okna a vzdušného proudění snadno odváděna z plochy okna.

U letních kapalin do ostřikovačů je základní složkou obyčejná voda, která obvykle tvoří až 99% hmoty přípravku.

Zimní kapaliny do ostřikovačů musí navíc bránit namrzání předních skel či světlometů u automobilů. Nemrznoucí vlastnost zajišťuje přimíchání alkoholů. Alkohol zabraňuje tuhnutí při záporných teplotách i přes velké naředí vodou. Použitelných látek je hodně, ale s vyšším počtem

uhlíků v molekule alkoholu klesá jejich rozpustnost ve vodě, může se objevovat zápach a zdravotní potíže.

U vícesytných alkoholů, tzv. glykolů, které se používají v chladicích kapalinách, nastává zase problém s jejich vyšší viskozitou, zvláště při záporných teplotách. Ta má za následek časté tvorby šmouh a mastnot na předním skle automobilu. Základní nemrznoucí složkou tak zůstávají zejména tři alkoholy: ethanol, methanol a propan-2-ol.

#### SLOŽENÍ KAPALIN DO OSTŘIKOVAČŮ

Koncentraci nemrznoucího alkoholu určuje požadavek na stupeň naředění. Při nezámrznosti okolo -20 °C tvoří voda asi dvě třetiny objemu kapaliny. Nejnižší náklady jsou při použití methanolu. Nejdražší je sice bezvodý propan-2-ol, ten se však používá v regenerované verzi, která nabízí výrazně nižší cenu, ale také často bohužel i horší senzoriku. K snížení těkavosti směsi jednosytných alkoholů a vody se pro zimní kapaliny do ostřikovačů přidávají vícesytné alkoholy, nejčastěji glykoly. Levnější ethan-1,2-diol či neškodlivý propan-1,2-diol však mohou být přítomné pouze v několika procentech. V desetinách procenta jsou pak přítomny povrchově aktivní látky (pokud již nejsou denaturační složkou), látky eliminující vliv tvrdosti vody, parfém a v setinách procent barvivo.

#### DETERGENT PŘIDANÝ ZÁMĚRNĚ

Pokud se požaduje enormně zvýšené odstraňování zbytků hmyzu u letní verze kapalin, dá se jej docílit kromě použití dalších povrchově aktivních látek použitím kratších vícesytných alkoholů či alkohol-etherů. V dnešní době populární varianta tzv. „tekutých stěračů“ či „rain off“ efekt je pak asi poslední možností, kdy se pro kapaliny do ostřikovačů používá další detergent záměrně, pokud se stejného účinku nedosahuje pomocí modifikovaných silikonů, jež však mohou mít později negativní vliv na průhlednost přední skla. Typ přítomného detergentu má totiž vliv nejen na samotný čistící proces a pěnivost, ale stejně tak ovlivňuje míru napadání laku, polykarbonátů ve světlometech [4], stejně jako může stimulovat poškozování asfaltových či betonových povrchů podél silnic [20]



Obr. č. 26 – Kapalina do ostřikovačů použitá v experimentu

**Vzorek 5 - Zimní posyp (Posypová sůl)**

Posyp v zimním období slouží k zajištění nebo zlepšení sjízdnosti nebo schůdnosti. Posyp nebo postřik některými chemickými látkami (hlavně chloridem sodným neboli kuchyňskou solí) se používá ke snížení bodu mrznutí vody což znamená rozmrazení sněhu či ledu nebo k prevenci usazování sněhu či namrzání povrchu. Před posypáním je většinou sníh odklizen. Nevýhoda sypání je zvyšování prašnosti a znečišťování komunikace. Na suché komunikaci zbytky posypu adhezi naopak snižují. Posyp solí a chemickými látkami způsobuje znečištění vod a půdy a škodí rostlinám, živočichům, vozidlům i zařízením komunikace. Nejvíce používaným posypovým rozmrazovacím materiálem je chlorid sodný, tzv. kuchyňská sůl.



Obr. č. 27 – Krystalky NaCl [15]



V současnosti není žádná lepší rozmrazovací látka než chlorid sodný. Pokusy ukázaly, že testované alternativní látky byly buď příliš drahé, nebo jejich účinek nebyl dostatečný. Jediným efektivním opatřením je používání solankového roztoku místo sypané soli. Jedním z dalších posypových materiálů je chlorid vápenatý, ten však má erozní účinky na betonové konstrukce. Méně často se také používá chlorid hořečnatý. Pro účinnost rozmrazovacích látek je směrodatný tzv. eutektický bod, což je teplota, do které má látka rozmrazovací účinek. Chlorid sodný ve vodním roztoku s koncentrací cca 22 % může rozpouštět led až do  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Chlorid vápenatý ve vodním roztoku s koncentrací 30 % může rozpouštět až do teploty  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V praxi však není možné rovnoměrně dosáhnout ideální koncentrace. Pro běžné potřeby zimního ošetřování komunikací účinkuje kuchyňská sůl do teploty zhruba  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , maximálně  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , při teplotách pod  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  již bývá zcela neúčinná. V zemích s vyššími teplotami mrazu se používá směs chloridu sodného s chloridem vápenatým. Chlorid vápenatý je velmi účinný až do  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na letištích se pro speciální účely používá močovina, alkoholy a glykoly. Do posypových solí se v malém množství přimíchává ferrokyanid sodný (převážně v Česku) nebo ferrokyanid draselný, který slouží jako zpomalovač ztvrdnutí neboli protispékací přípravek.

V České republice bylo v zimní sezóně 2000/2001 na posyp vozovek silniční sítě v ČR použito 168 000 tun soli, 348 000 tun drtí a písků, 91 000 tun dalších materiálů jako škvára a struska. Posyp solí se prováděl na 42 % ze silniční sítě (z toho je 38 % udržováno technologií zvlhčování soli), posyp drtěmi a písky na 34 % silniční sítě a posyp struskami nebo škvárou na 11 % silniční sítě. Ze solí se v 98 % používal chlorid sodný, ve zbylém podílu chlorid vápenatý a zřídka chlorid hořečnatý. Cena posypové soli se pohybovala v rozmezí 1700 až 2200 Kč za tunu. [15]

#### ***Vzorek 6 - Slazený nápoj – Coca-Cola***

Byla na trh uvedena roku 1886 jako sladký nápoj hnědé barvy s obsahem kofeinu a bezkokainového výtažku koky. Od roku 1888 sycená oxidem uhličitým.



Obr. č. 28 – Nejznámější logo slazeného nápoje [18]

Zpočátku byl nápoj tvořený dvěma složkami, výtažky koky a ořechu koly, s obsahem kokainu a kofeinu, a obsahoval také víno. Brzy poté z receptury ubylo víno a stal se nealkoholickým nápojem. Roku 1903 či 1904 se přestal kokain podávat do nápoje kvůli tlaku veřejnosti a byl nahrazen zvýšením obsahu kofeinu. Avšak z chuťových důvodů byl do nápoje přidáván výtažek z koky zbavený kokainu. V únoru 2011 byl odhalena tajná receptura na výrobu Coca-Coly, kterou údajně našel na fotografii otevřené knihy v listu Atlanta Journal-Constitution z února 1979:

- extrakt z koky – 6 g\*
- kyselina fosforečná – 84 g
- kofein 28 g
- cukr – 840 g, pokud původní údaj „30“ je také v uncích
- voda – 9,36 l
- limetková šťáva – 0,946 l
- vanilka – 28 g
- karamel – 42 g nebo více kvůli barvě
- tajná ingredience 7X – 56 g do 18,7 l sirupu
- pomerančový olej – 20 kapek
- citronový olej – 30 kapek
- muškátový oříšek – 10 kapek
- koriandr – 5 kapek
- neroli (silice z květů hořkého pomerančovníku) – 10 kapek
- skořice – 10 kapek

#### **Vzorek 7 - Alkohol (51 %)**

Alkoholy jsou nearomatické hydroxylové deriváty uhlovodíků. Tyto organické sloučeniny obsahují skupinu OH a mají velký význam. Nejznámější ze skupiny alkoholů je ethanol, který je znám pro své hojné využití v průmyslu paliv (biopaliva), potravinářství (alkoholické nápoje – konkrétně ethanol, užíván jako rekreační droga), kosmetice a především v mnoha reakcích v organické syntéze.

Jedná se o deriváty uhlovodíků, které vznikají náhradou jednoho či více atomů vodíku na atomu uhlíku nearomatického uhlovodíku hydroxylovou skupinou (-O-H).

Alkoholy můžeme dělit z několika hledisek do více skupin. Základní dělení vychází z počtu hydroxylových skupin vázaných k uhlovodíkovému zbytku:

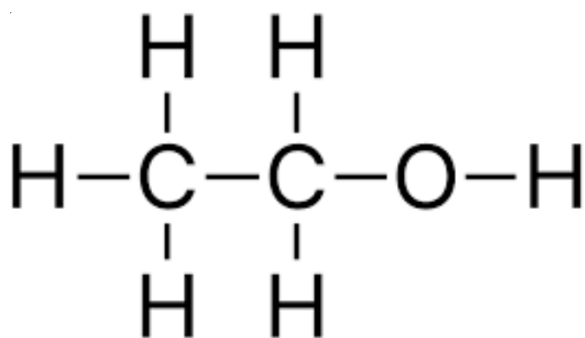
- alkoholy (jednosytné) – obsahují jednu hydroxylovou skupinu
- dioly (dvojsytné alkoholy) – obsahují dvě vázané -OH skupiny
- trioly (trojsytné alkoholy) – obsahují tři vázané -OH skupiny

- tetraoly (čtyřsytné alkoholy) – obsahují čtyři vázané -OH skupiny
- pentaoly, hexaoly, heptaoly, atd.
- polyoly – vícesytné alkoholy

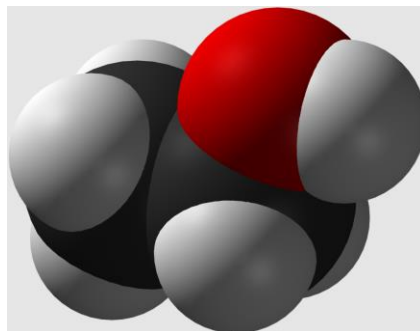
Alkoholy jsou hojně rozšířeny v přírodě, zejména ve formě esterů (tuky, vosky, pryskyřice, atd.). Alkoholy se získávají kvasnými pochody (ethanol, butanol), hydrogenací fenolů (cyklohexanol), esterů a dalších derivátů karboxylových kyselin, redukcí karbonylových sloučenin, hydrolýzou halogenderivátů atd. Nižší alkoholy jsou neomezeně mísitelné s vodou. Alkoholy se používají jako rozpouštědla, jako výchozí suroviny pro chemický průmysl, zejména pro přípravu esterů a dalších produktů z oblasti umělých hmot, výbušnin; pro výrobu léčiv, pro potravinářství atd. Důležitými alkoholy jsou například methanol (methylalkohol), ethanol (ethylalkohol), cyklohexanol, benzylalkohol, ethylenglykol (1,2-ethandiol), glycerol (1,2,3-propantriol). Některé alkoholy (např. ethanol, methanol) jsou nervové jedy. [17]

**Ethanol** (mimo chemii dle PČP etanol) nebo ethylalkohol (obecně alkohol, hovorově špiritus) je druhý nejnižší alkohol. Jde o bezbarvou kapalinu ostré, ale ve zředění příjemné alkoholové vůně, která je základní součástí alkoholických nápojů. Je snadno zápalný, a proto je klasifikován jako hořlavina 1. třídy. Jako součást alkoholických nápojů je ethanol užíván jako rekreační droga, (nejen) v ČR legální a společensky akceptovaná, ovšem s vysokým počtem na ní závislých lidí (viz alkoholismus).

Působení ethanolu závisí kromě jiného na tom, jak je lidský organismus zvyklý ethanol přijímat, a na celkové tělesné hmotnosti konzumenta. Proto je optimální dávkování relativní. V malé dávce způsobuje ethanol krátkodobou euforii a pocit uvolnění, ve větší dávce zhoršuje koordinaci pohybů (působením na mozeček), snižuje reaktivitu, snižuje vnímavost, tlumí rozumové schopnosti, vyvolává depresi, agresivitu atd. Alkohol působí synergicky na receptorech GABA, což je právě příčinou „opilosti“, zejména sedací a pocity bezstarostnosti, v menší míře i euforie.] Významnější vliv na lidské tělo a psychiku má metabolit acetaldehyd a kyselina octová. Ethanol ve formě alkoholických nápojů je konzumován po tisíce let. [18]



Obr. č. 29 – Strukturní vzorec Ethanol [18]



Obr. č. 30 – Prostorový model Ethanol [18]

### 4.3 PŘÍPRAVA KAROSERIE

Pro daný pokus byly použity dvě nová stejná víka motorového prostoru od vozidla VW Golf 7, u kterých byl proveden manuální dostřik po KTL (viz. Kapitola 3). Dílce byly důkladně umyty a odmaštěny, aby nedošlo k chybnému měření díky nečistotám, ale povrch nebyl následně ošetřen žádným voskem sloužící k navýšení standardní odolnosti laku proti mechanickým a chemickým vlivům, poněvadž cílem práce bylo se zaměřit na degradaci laku standardní karoserie, která se běžně vykytuje u nejširší části populace.



Obr. č. 31 – Nachystaná karoserie pro testování [vlastní zdroj]

Jelikož bylo vybráno 7 typů chemických sloučenin, bylo vytvořeno celkem 7x 7 zkušebních polí pro různé kapaliny. Velká pozornost byla věnována důkladnému navázání stěn jednotlivých polí, poněvadž většina z vybraných chemických kapalin má velmi nízkou viskozitu, takže by mohlo hrozit

promíchání jednotlivých složek, což by mohlo zkreslit výsledky měření. Z těchto důvodů byla použita odolná plastelína, která je dostatečně tvárná, takže byla schopna zcela kopírovat geometrii povrchu laku a navázat na další stěny z plastelíny, ale zároveň nedocházelo k její naleptání příslušnou chemickou látkou. Taktéž bylo požadováno udržet určitý kapalinový sloupec na daném měřícím poli, takže výška testovací ohrádky byla cca 12 až 17 mm.



*Obr. č. 32 – Připravená karoserie včetně polí na testování [vlastní zdroj]*

#### **4.4 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ**

Měřicí jednotka musí být velmi sofistikované zařízení, poněvadž musí umožňovat nedestruktivní metodou změřit tloušťku povrchu s přesností jednotek micrometrů. Na trhu je velké množství měřících zařízení, nicméně v našem pokusu bylo použito nejnovější zařízení Coatmaster Flex od švýcarského výrobce. Jedná se o celkem novou inovativní technologii, která umožňuje měřit mokré i práškové barvy před i po vytvrzení nekontaktním způsobem, protože pracuje s technologií Advanced Thermal Optics (ATO) – měřená tloušťka je pulzně zahřátá počítačově řízeným světelným zdrojem. Pro lepší představu lze vidět princip na Obr. č. 30 a 31.

### Princip měření

1. Lampa
2. Pulzní tepelní příkon
3. Nátěrová hmota
4. Povlak
5. IR záření
6. IR senzor



Obr. č. 33 – Princip měření Advanced Thermal Optics [21]

Tato možnost je obrovskou výhodou ve výrobním procesu, protože ve finále rapidně urychluje odladění lakovacího procesu, poněvadž není vyžadováno čekat na přeměření nanesené vrstvy až po vytvrzení, ale lze měřit okamžitě po aplikaci barvy. Díky měření na základě pulzního zahřátí zařízení pochopitelně umožňuje měřit tloušťku dané vrstvy na jakémkoli podkladu, takže kromě oceli, hliníku a kovových podkladů umí změřit i tloušťku laku třeba na dřevěném nebo gumovém podkladě. Velká výhoda je, že na samotný průběh měření změna podkladu nemá vliv a je vyžadováno pouze přepínání, zda měříte mokrou, či práškovou barvu a zda před, či po vypálení. Měření trvá cca 0,25 s a provádí se ve vzdálenosti 2 až 15 cm od měřené plochy. Výsledek se obratem ukáže na displeji zařízení a v případě, že je zařízení připojeno na Wi-Fi, dochází k přesunu veškerých výsledků na digitální úložiště Cloud a lze i výsledky zpětně procházet na zařízení. Coatmaster umí měřit v rozsahu tlouštěk 1 až 400  $\mu\text{m}$  u mokrých vytvrzených barev, respektive 1 až 1000  $\mu\text{m}$  pro vytvrzené práškové barvy.

Výhoda je i přesnost měřidla, která je 1  $\mu\text{m}$  i pro pohybující se dílce. Zařízení umožňuje pracovat v úhlové odchylce  $\pm 70^\circ$ , což jsou další nesporné výhody oproti kontaktním měřákům. Zařízení je napájeno standardní aku baterkou, která umožňuje na jedno nabití minimálně 1000 měření a přesunu výsledků na zmíněné digitální úložiště. Zařízení je uživatelsky velmi přívětivé, poněvadž hmotnost včetně baterie je cca 1,3 kg a lze přepnout ovládací menu do českého jazyka.



Obr. č. 34 – Ukázka měření pomocí Coatmaster Flexu [10]

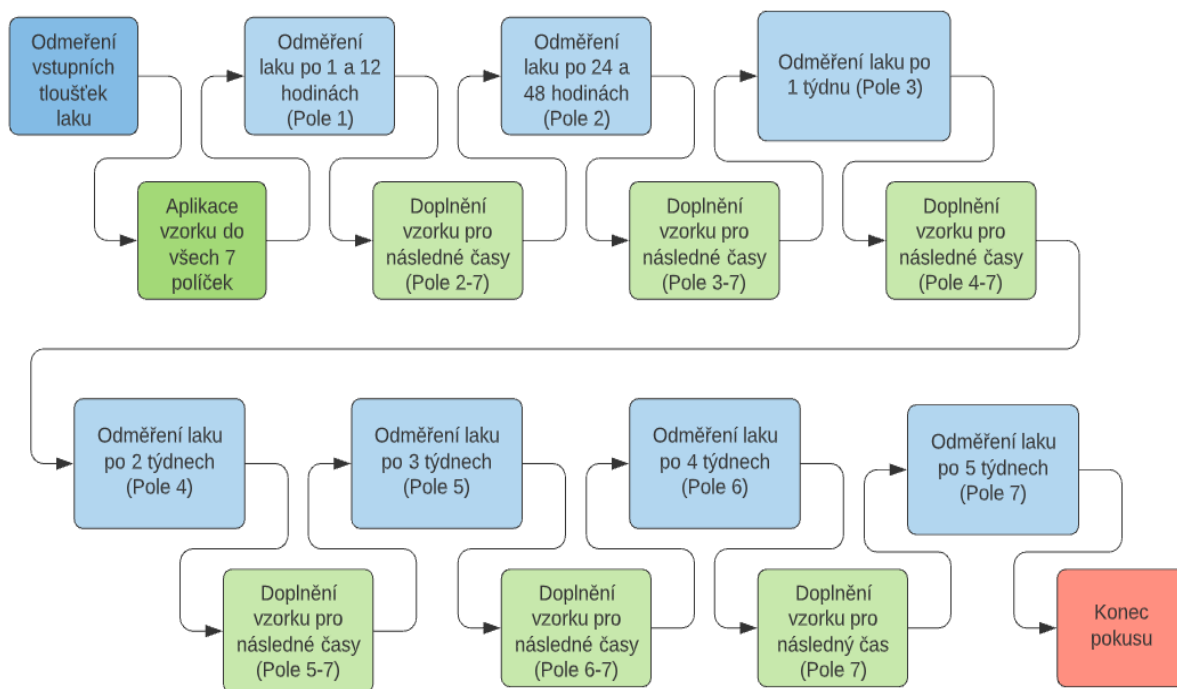


Obr. č. 35 – Zařízení Coatmaster Flex [10]

## 4.5 METODIKA MĚŘENÍ

Určitá nevýhoda manuálního nástřiku spočívá v nerovnoměrnosti dané tloušťky laku. Z tohoto důvodu bylo každé testovací pole (celkem 7x 7 polí) připravené na karosérii odměřeno na 3 místech, která byla přesně poznačena – horní část, střední část a spodní část každého pole. Odměřená čísla potvrdila nerovnoměrnost vrstvy způsobené manuálním nástřikem, takže přesnost měřících pozic byla velmi důležitá.

Po proměření všech vstupních hodnot tloušťek laku (3x v každém políčku) došlo k aplikaci příslušných chemických směsí, následnému měření v uvedených časových intervalech (Pole 1 slouží k odměření změn laku po 1 a 12 hodinách, Pole 2 po 24 a 48 hod., Pole 3 po 1 týdnu, Pole 4 po 2 týd., Pole 5 po 3 týd., Pole 6 po 4 týd., Pole 7 po 5 týd.), doplňování chemických směsí do políček, kde bude probíhat odměření až v pozdějších termínech atd. Celý proces je možné vidět i na následujícím harmonogramu, viz obrázek č. 34 (pro všechny typy chemických vzorků byl postup totožný):



Obr. č. 36 – Postup při měření degradace laku [vlastní zdroj]



## 5 ANALÝZA VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU

### 5.1 HODNOTY TLOUŠTKY LAKU PŘED ZNEČIŠTĚNÍM

V následujících tabulkách jsou interpretovány hodnoty tloušťek laku před kontaktem s chemickou látkou, čímž byly získány výchozí hodnoty pro porovnávání s výslednými hodnotami tloušťky laku v průběhu celého experimentu. Vždy jsou nejdříve uvedeny hodnoty pro karosérii umístěnou v temperovaném prostředí a poté pro karosérii umístěnou pod přístřeškem.

#### 5.1.1 Vzorek 1 – Benzín

Vstupní hodnoty tloušťek laku na všech 7 polích na obou karosériích. Znatelná nerovnoměrnost ručního nástřiku.

Tab. č. 1 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro benzín, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
158 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	168 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$
158 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	165 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$
156 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$

Tab. č. 2 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro benzín, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
165 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	172 $\mu\text{m}$	173 $\mu\text{m}$	179 $\mu\text{m}$	178 $\mu\text{m}$	178 $\mu\text{m}$
164 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	169 $\mu\text{m}$	175 $\mu\text{m}$	179 $\mu\text{m}$	179 $\mu\text{m}$	180 $\mu\text{m}$
167 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	171 $\mu\text{m}$	173 $\mu\text{m}$	183 $\mu\text{m}$	178 $\mu\text{m}$	182 $\mu\text{m}$

#### 5.1.2 Vzorek 2 – Motorová nafta

Vstupní hodnoty tloušťek laku pro následný experiment s motorovou naftou. Taktéž velká nerovnoměrnost v tloušťkách laku způsobená manuálním přestříkem.

Tab. č. 3 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro mot. naftu, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
144 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$
140 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$
139 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$

Tab. č. 4 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro mot. naftu, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
156 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	165 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$	174 $\mu\text{m}$	174 $\mu\text{m}$
151 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$
147 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	172 $\mu\text{m}$

### 5.1.3 Vzorek 3 – AdBlue

Vstupní hodnoty tlouštěk laku před začátkem pokusu s močovinou. I zde je lehce patrná nerovnoměrnost tloušťky laku.

Tab. č. 5 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro AdBlue, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
137 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$
137 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$
137 $\mu\text{m}$	139 $\mu\text{m}$	138 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$

Tab. č. 6 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro AdBlue, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
153 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$
159 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$
160 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$

### 5.1.4 Vzorek 4 – Kapalina do ostříkovačů

Níže ukázané vstupní hodnoty pro kapalinu do ostříkovačů s viditelným negativním jevem ručního dostříku.

Tab. č. 7 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro kapalinu do ostříkovačů, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
141 $\mu\text{m}$	138 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$
142 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$
142 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$

Tab. č. 8 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro kapalinu do ostříkovačů, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
148 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$
150 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$
146 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$

### 5.1.5 Vzorek 5 – Roztok NaCl

Tabulka č. 9 a 10. interpretuje hodnoty tlouštěk laku před začátkem pokusu s roztokem NaCl.

I zde je patrná rozdílnost tlouštěk díky manuálnímu dostříku.

Tab. č. 9 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro roztok NaCl, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
178 $\mu\text{m}$	172 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	173 $\mu\text{m}$	177 $\mu\text{m}$	172 $\mu\text{m}$
188 $\mu\text{m}$	175 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	168 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$
189 $\mu\text{m}$	176 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$

Tab. č. 10 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro roztok NaCl, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
164 $\mu\text{m}$	171 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$
163 $\mu\text{m}$	169 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$
160 $\mu\text{m}$	168 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$

### 5.1.6 Vzorek 6 – Coca-Cola

V tabulce č. 11 a 12 lze vidět vstupní hodnoty tlouštěk laku pro experiment s Coca-Colou.

Opětovná velká rozdílnost tlouštěk díky způsobená manuálním dostříkem.

Tab. č. 11 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro Coca-Colu, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
157 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$
152 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$
151 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$

Tab. č. 12 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro Coca-Colu, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
173 $\mu\text{m}$	167 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$
173 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$
176 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$

### 5.1.7 Vzorek 7 – Alkohol (51 %)

Vstupní hodnoty tlouštěk laku pro pokusy degradace tloušťky laku po kontaktu s 51% alkoholem. I zde je viditelný velký rozsah tlouštěk způsobené manuálním dostřikem.

Tab. č. 13 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro alkohol, vnitřní [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
162 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$
161 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$
165 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$

Tab. č. 14 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro alkohol, vnější [vlastní zdroj]

Pole 1	Pole 2	Pole 3	Pole 4	Pole 5	Pole 6	Pole 7
150 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$
143 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	139 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$
143 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$

## 5.2 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

### 5.2.1 Vzorek 1 – Benzín

Je dobře patrné, jak v temperovaném prostředí vytvořil benzín lehký film, který se držel až do 48 hodin, kdy se poté začal ztrácet a proběhla lehká výsledná degradace okolo 4  $\mu\text{m}$ . Oproti tomu u karoserie ve vnějším prostředí neproběhla tvorba žádného filmu a začala téměř okamžitá degradace, která ale ve finále nebyla ani tak silná jako u vnitřního vzorku.

Tab. č. 15 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s benzínem, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	159 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	156 $\mu\text{m}$
Střední část	159 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	165 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$	158 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$
Dolní část	162 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	159 $\mu\text{m}$
Ø změna	2,6 $\mu\text{m}$	4 $\mu\text{m}$	5,3 $\mu\text{m}$	3,3 $\mu\text{m}$	-0,6 $\mu\text{m}$	-3,3 $\mu\text{m}$	-1 $\mu\text{m}$	-3,3 $\mu\text{m}$	-4 $\mu\text{m}$

Tab. č. 16 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s benzínem, vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	166 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	164 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	171 $\mu\text{m}$	171 $\mu\text{m}$	180 $\mu\text{m}$	175 $\mu\text{m}$	175 $\mu\text{m}$
Střední část	165 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	167 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$	176 $\mu\text{m}$	179 $\mu\text{m}$	177 $\mu\text{m}$	177 $\mu\text{m}$
Dolní část	166 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$	172 $\mu\text{m}$	180 $\mu\text{m}$	176 $\mu\text{m}$	180 $\mu\text{m}$
Ø změna	0,3 $\mu\text{m}$	-1 $\mu\text{m}$	-1,3 $\mu\text{m}$	-1,6 $\mu\text{m}$	-0,3 $\mu\text{m}$	-0,6 $\mu\text{m}$	-0,6 $\mu\text{m}$	-2,3 $\mu\text{m}$	-2,6 $\mu\text{m}$

### 5.2.2 Vzorek 2 – Motorová nafta

U těchto výsledků byla viditelná ještě rychlejší tvorba ochranného filmu na karoserii. Obzvláště u vnitřní karoserie byl patrný film až 12  $\mu\text{m}$ . Oba vzorky vykazovaly pouze lehkou degradaci tloušťky laku – u vnitřní 2,6  $\mu\text{m}$  a u vnější 3,6  $\mu\text{m}$ .

Tab. č. 17 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s mot. naftou, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	146 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$
Střední část	148 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$
Dolní část	146 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	138 $\mu\text{m}$	139 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$
Ø změna	5,66 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	0 $\mu\text{m}$	-1,6 $\mu\text{m}$	-2 $\mu\text{m}$	-1,3 $\mu\text{m}$	-2 $\mu\text{m}$	-2,6 $\mu\text{m}$

Tab. č. 18 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s mot. naftou, vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	163 µm	158 µm	161 µm	164 µm	177 µm	168 µm	168 µm	173 µm	172 µm
Střední část	160 µm	152 µm	161 µm	160 µm	172 µm	164 µm	164 µm	165 µm	165 µm
Dolní část	153 µm	148 µm	152 µm	156 µm	166 µm	164 µm	162 µm	160 µm	168 µm
Ø změna	7,3 µm	6 µm	4 µm	6 µm	12 µm	3 µm	-2 µm	-3 µm	-3,6 µm

### 5.2.3 Vzorek 3 – AdBlue

Určitým překvapením byly výsledky měření po kontaktu povrchu karoserie s močovinou, poněvadž tvorba lehké ochranné vrstvy vznikla pouze u vnitřní kapoty, která ale velmi brzo zmizela a již po 12 hodinách se projevoval první úbytek tloušťky laku, který v průběhu času neustále narůstal až na finálních 12 µm. U venkovního testovacího vzorku nevznikl žádný film a úbytek začal obratem, nicméně výsledná hodnota degradace nebyla tak vysoká jako u vnitřní kapoty.

Tab. č. 19 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s AdBlue, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	141 µm	137 µm	140 µm	140 µm	140 µm	142 µm	150 µm	151 µm	154 µm
Střední část	141 µm	134 µm	140 µm	139 µm	141 µm	140 µm	150 µm	144 µm	156 µm
Dolní část	141 µm	137 µm	137 µm	138 µm	138 µm	140 µm	149 µm	145 µm	142 µm
Ø změna	4 µm	-1 µm	-1 µm	-1 µm	-0,6 µm	-2 µm	-6,3 µm	-10 µm	-11,3 µm

Tab. č. 20 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s AdBlue, vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	153 µm	151 µm	147 µm	147 µm	149 µm	147 µm	162 µm	153 µm	153 µm
Střední část	158 µm	153 µm	152 µm	152 µm	150 µm	147 µm	159 µm	153 µm	152 µm
Dolní část	159 µm	153 µm	151 µm	150 µm	149 µm	150 µm	155 µm	154 µm	150 µm
Ø změna	-0,6 µm	-1 µm	-1,6 µm	-2 µm	-3 µm	-3 µm	-3,6 µm	-4 µm	-8 µm

### 5.2.4 Vzorek 4 – Kapalina do ostřikovačů

I u výsledků experimentu s kapalinou do ostřikovačů proběhlo určité překvapení, poněvadž jsem očekával, že díky svým vlastnostem bude naleptávat horní vrstvu laku nejvíce. Opak byl pravdou – v obou případech (karoserie uvnitř i venku) došlo k minimálním reakcím na kontakt s kapalinou do ostřikovačů. Taktéž i finální degradace byla minimální.

Tab. č. 21 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s kap. do ostř., vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	142 μm	140 μm	137 μm	137 μm	144 μm	141 μm	147 μm	147 μm	148 μm
Střední část	143 μm	143 μm	141 μm	141 μm	141 μm	144 μm	148 μm	146 μm	146 μm
Dolní část	141 μm	141 μm	141 μm	141 μm	143 μm	144 μm	147 μm	146 μm	146 μm
Ø změna	0,3 μm	-0,3 μm	-1 μm	-1 μm	-1,6 μm	-2 μm	-2,3 μm	-2,3 μm	-2,3 μm

Tab. č. 22 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s kap. do ostř., vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	150 μm	150 μm	150 μm	150 μm	150 μm	149 μm	158 μm	156 μm	153 μm
Střední část	153 μm	152 μm	146 μm	146 μm	151 μm	148 μm	157 μm	157 μm	155 μm
Dolní část	150 μm	148 μm	151 μm	151 μm	150 μm	147 μm	153 μm	157 μm	156 μm
Ø změna	3 μm	2 μm	1,6 μm	1,6 μm	0,6 μm	-0,3 μm	-1 μm	-1 μm	-1,6 μm

### 5.2.5 Vzorek 5 – NaCl

Velmi zajímavé byly hodnoty měření po kontaktu karoserie s roztokem s NaCl, na kterém se u vnitřního vzorku začínal projevovat úbytek až po jednom týdnu kontaktu, respektive po dvou týdnech kontaktu u vnějšího vzorku.

Tab. č. 23 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s NaCl, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	185 μm	182 μm	175 μm	174 μm	159 μm	149 μm	167 μm	168 μm	164 μm
Střední část	190 μm	187 μm	175 μm	173 μm	155 μm	155 μm	159 μm	164 μm	164 μm
Dolní část	185 μm	188 μm	177 μm	176 μm	160 μm	160 μm	156 μm	154 μm	160 μm
Ø změna	5 μm	2,3 μm	1,3 μm	0 μm	-2 μm	-3 μm	-4,3 μm	-5,6 μm	-6 μm

Tab. č. 24 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s NaCl, vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	165 μm	165 μm	172 μm	172 μm	162 μm	153 μm	144 μm	154 μm	148 μm
Střední část	164 μm	165 μm	170 μm	170 μm	164 μm	149 μm	149 μm	149 μm	146 μm
Dolní část	162 μm	161 μm	168 μm	168 μm	156 μm	151 μm	148 μm	148 μm	147 μm
Ø změna	1,3 μm	1,3 μm	0,6 μm	0,6 μm	0 μm	-1 μm	-2 μm	-2,6 μm	-3 μm

### 5.2.6 Vzorek 6 – Coca-Cola

Svým způsobem byly očekávány „velké“ výsledky u kontaktu karoserie právě s Coca-Colou, která je někdy využívána dokonce i v opravárenství, kdy je schopna např. pomoci povolit zarezlý šroubový spoj. V našem experimentu došlo u vnitřní karosérie k vytvoření ochranného filmu po dobu celých dvou týdnů a až poté začala vrstva horního laku ubývat. U vnější karosérie došlo taktéž k tvorbě filmu. Ten zmizel po prvním týdnu a poté nastala očekávaná degradace, jejíž maximální hodnota byla 7,3  $\mu\text{m}$ .

Tab. č. 25 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s Coca-Colou, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	163 $\mu\text{m}$	165 $\mu\text{m}$	168 $\mu\text{m}$	167 $\mu\text{m}$	157 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	147 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$
Střední část	153 $\mu\text{m}$	160 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	153 $\mu\text{m}$	150 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$
Dolní část	155 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$
Ø změna	3,6 $\mu\text{m}$	6,6 $\mu\text{m}$	5,6 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$	4,6 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	-2,3 $\mu\text{m}$	-2,3 $\mu\text{m}$	-2,6 $\mu\text{m}$

Tab. č. 26 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s Coca-Colou, vnější [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	177 $\mu\text{m}$	176 $\mu\text{m}$	170 $\mu\text{m}$	169 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	139 $\mu\text{m}$
Střední část	180 $\mu\text{m}$	176 $\mu\text{m}$	167 $\mu\text{m}$	167 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	148 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	136 $\mu\text{m}$
Dolní část	179 $\mu\text{m}$	178 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	162 $\mu\text{m}$	151 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	146 $\mu\text{m}$	134 $\mu\text{m}$
Ø změna	4,6 $\mu\text{m}$	2,6 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	0,3 $\mu\text{m}$	-1,3 $\mu\text{m}$	-2 $\mu\text{m}$	-6 $\mu\text{m}$	-7,3 $\mu\text{m}$

### 5.2.7 Vzorek 7 – Alkohol

Obdobně jako i u předchozích vzorků, tak alkohol, na vnitřní karosérii, vytvořil film nad horní vrstvou laku, která zmizela již v období 12 až 24 hod. a poté se začala projevovat degradace laku. Je zajímavé, že vznik alkoholové vrstvy nad horní vrstvou laku byl na vnější karosérii minimální. Zároveň i vnější degradace laku byla menší než u vnitřního vzorku s ustálenou teplotou a vlhkostí.

Tab. č. 27 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s alkoholem, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	170 $\mu\text{m}$	163 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	144 $\mu\text{m}$
Střední část	165 $\mu\text{m}$	161 $\mu\text{m}$	155 $\mu\text{m}$	154 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$	141 $\mu\text{m}$
Dolní část	170 $\mu\text{m}$	166 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	152 $\mu\text{m}$	143 $\mu\text{m}$	149 $\mu\text{m}$	145 $\mu\text{m}$	142 $\mu\text{m}$	140 $\mu\text{m}$
Ø změna	5,6 $\mu\text{m}$	0,6 $\mu\text{m}$	0 $\mu\text{m}$	-0,3 $\mu\text{m}$	-1 $\mu\text{m}$	-1,6 $\mu\text{m}$	-1,6 $\mu\text{m}$	-4,6 $\mu\text{m}$	-5 $\mu\text{m}$



Tab. č. 28 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s alkoholem, vnitřní [vlastní zdroj]

Časový úsek	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
Horní část	149 μm	150 μm	152 μm	151 μm	147 μm	148 μm	149 μm	142 μm	141 μm
Střední část	146 μm	143 μm	149 μm	148 μm	150 μm	143 μm	145 μm	137 μm	142 μm
Dolní část	144 μm	144 μm	152 μm	152 μm	146 μm	143 μm	144 μm	143 μm	138 μm
Ø změna	1 μm	0,3 μm	0 μm	-0,6 μm	-1,3 μm	-1,3 μm	-2 μm	-2,6 μm	-3,3 μm

## 6 DISKUZE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ ŘEŠENÍ

### 6.1 EXPERIMENT VE VNITŘNÍM PROSTŘEDÍ

Tabulka č. 29 ukazuje průměrné změny tloušťek laku pro všech sedm chemických vzorků. Pro všechny vzorky lze prohlásit, že v první hodině proběhne tvorba určitého filmu na povrchu horní vrstvy laku. Následný vývoj lze rozdělit do 3 kategorií:

1. Rychlý úbytek vzniklého filmu a následná degradace laku, která se u AdBlue projevuje celkem značně, oproti tomu u Kapaliny do ostřikovačů je výsledná degradace velmi pozvolná, téměř zanedbatelná.  
Jedná se o AdBlue a Kapalinu do ostřikovačů.
2. Nárůst vznikajícího filmu po první hodině. Amplituda je v rozmezí 12 až 24 hodin. Poté začne film mizet a v intervalu 48 hodin až 1 týdne dochází k začátku degradace laku.  
Jedná se o Benzín a Coca-Colu.
3. Amplituda vznikající vrstvy je do jedné hodiny, následně začne ubývat a okolo 48. hodiny (od prvního kontaktu s chemikálií) začne ubývání vrstvy laku.  
Jedná se o Motorovou naftu, Solnou směs a Alkohol.

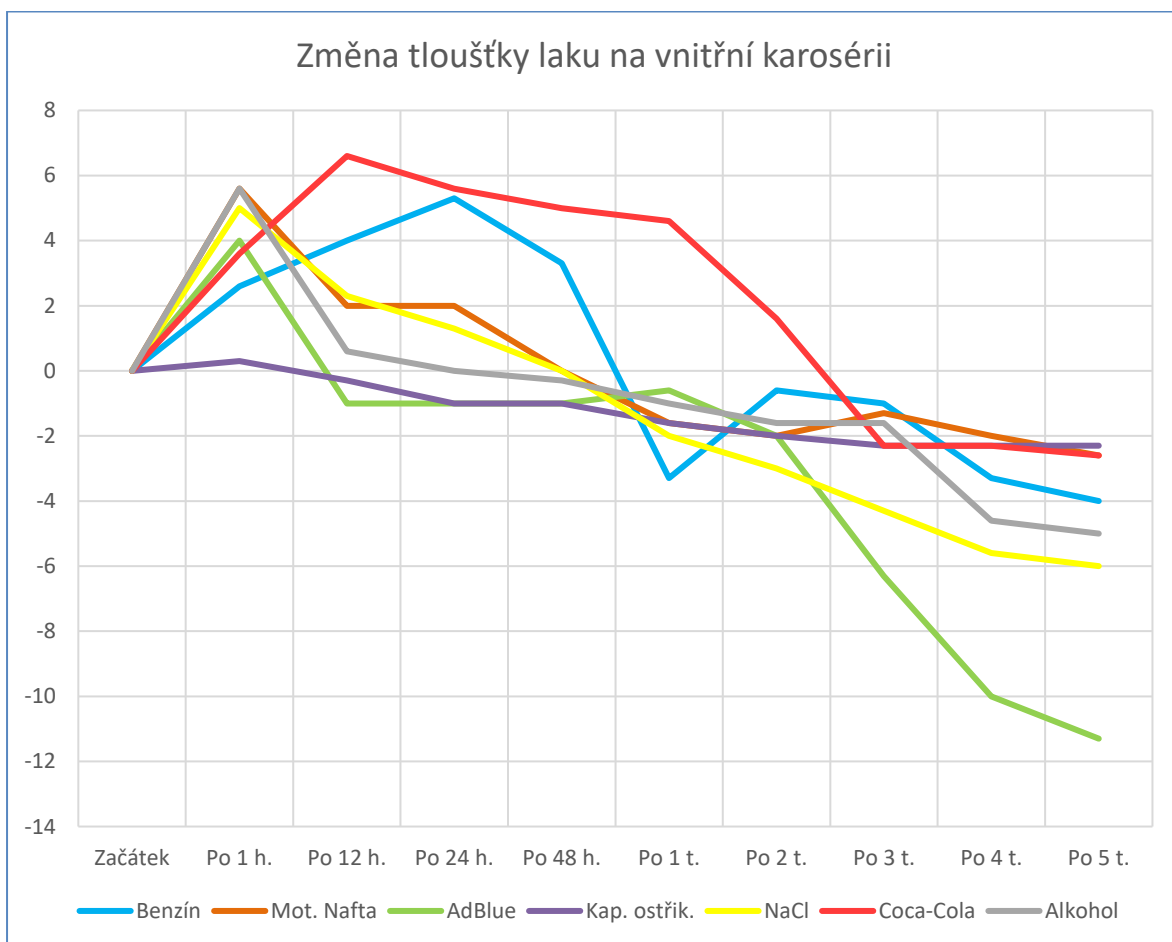
Tab. č. 29 – Změna tloušťky laku u vnitřní karosérie [vlastní zdroj]

	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
<b>Benzín</b>	2,6 µm	4 µm	5,3 µm	3,3 µm	-0,6 µm	-3,3 µm	-1 µm	-3,3 µm	-4 µm
<b>Mot. nafta</b>	5,6 µm	2 µm	2 µm	0 µm	-1,6 µm	-2 µm	-1,3 µm	-2 µm	-2,6 µm
<b>AdBlue</b>	4 µm	-1 µm	-1 µm	-1 µm	-0,6 µm	-2 µm	-6,3 µm	-10 µm	-11,3 µm
<b>Kap. ostřik.</b>	0,3 µm	-0,3 µm	-1 µm	-1 µm	-1,6 µm	-2 µm	-2,3 µm	-2,3 µm	-2,3 µm
<b>NaCl</b>	5 µm	2,3 µm	1,33 µm	0 µm	-2 µm	-3 µm	-4,3 µm	-5,6 µm	-6 µm
<b>Coca-Cola</b>	3,6 µm	6,6 µm	5,6 µm	5 µm	4,6 µm	1,6 µm	-2,3 µm	-2,3 µm	-2,6 µm
<b>Alkohol</b>	5,6 µm	0,6 µm	0 µm	-0,3 µm	-1 µm	-1,6 µm	-1,6 µm	-4,6 µm	-5 µm

V následném grafu č. 1 lze jednoduše vidět celkový průběh změny tloušťek laku. I tento průběh odpovídá rozdělení do 3 úrovní degradací laků po kontaktu s chemikálií:

1. Téměř nereagující – u třech vzorků došlo téměř k nulové reakci s lakem karosérie, i v časovém intervalu 5 týdnů, jelikož výsledná degradace se pohybuje v intervalu 2,3 až 2,6 µm.  
Jedná se o Motorovou naftu, Kapalinu do ostřikovačů a Coca-Colu.

2. Částečně reagující – u dalších třech vzorků došlo k prokazatelné degradaci laku snížením tloušťky horní vrstvy laku karosérie, nicméně i přes to, že chemická látka reagovala celých 5 týdnů, došlo k úbytku v rozsahu 4 až 6  $\mu\text{m}$ .
3. Silně reagující – nejvíce je výrazná degradace laku po kontaktu s močovinou. U tohoto vzorku můžeme hovořit o extréměch v obou kritériích – nevytvořila téměř žádnou vrstvu nad lakem a po pěti týdnech byl úbytek laku přes 11,3  $\mu\text{m}$ .



Graf č. 1 – Změna tloušťky laku na vnitřní karosérii [vlastní zdroj]

## 6.2 EXPERIMENT VE VNĚJŠÍM PROSTŘEDÍ

Průměrné změny tloušťek laku karosérie umístěné venku po kontaktu se všemi sedmi testovacími vzorky jsou patrné v Tabulce č. 30. Pro všechny vzorky lze prohlásit, že v prvotní hodině proběhne tvorba určitého filmu na povrchu horní vrstvy laku. Následný vývoj lze rozdělit do 3 kategorií:

1. Bez vzniku žádného filmu, respektive se zanedbatelnou vrstvou, která vymizí nejpozději do 24 hod. a následný okamžitý úbytek tloušťky laku.  
Jedná se o Benzín, Alkohol a AdBlue.
2. Amplituda vzniklé vrstvy je do první hodiny, poté pozvolný pokles s vymizením v časovém intervalu 1 až 3 týdny.  
Jedná se o Motorovou naftu, Kapalinu do ostřikovačů a Coca-Colu.
3. Vznik minimální vrstvy, která s amplitudou do 1 až 12 hodin a následný pozvolný úbytek trvající až do 1 až 2 týdnů a následná degradace.  
Jedná se o solnou směs.

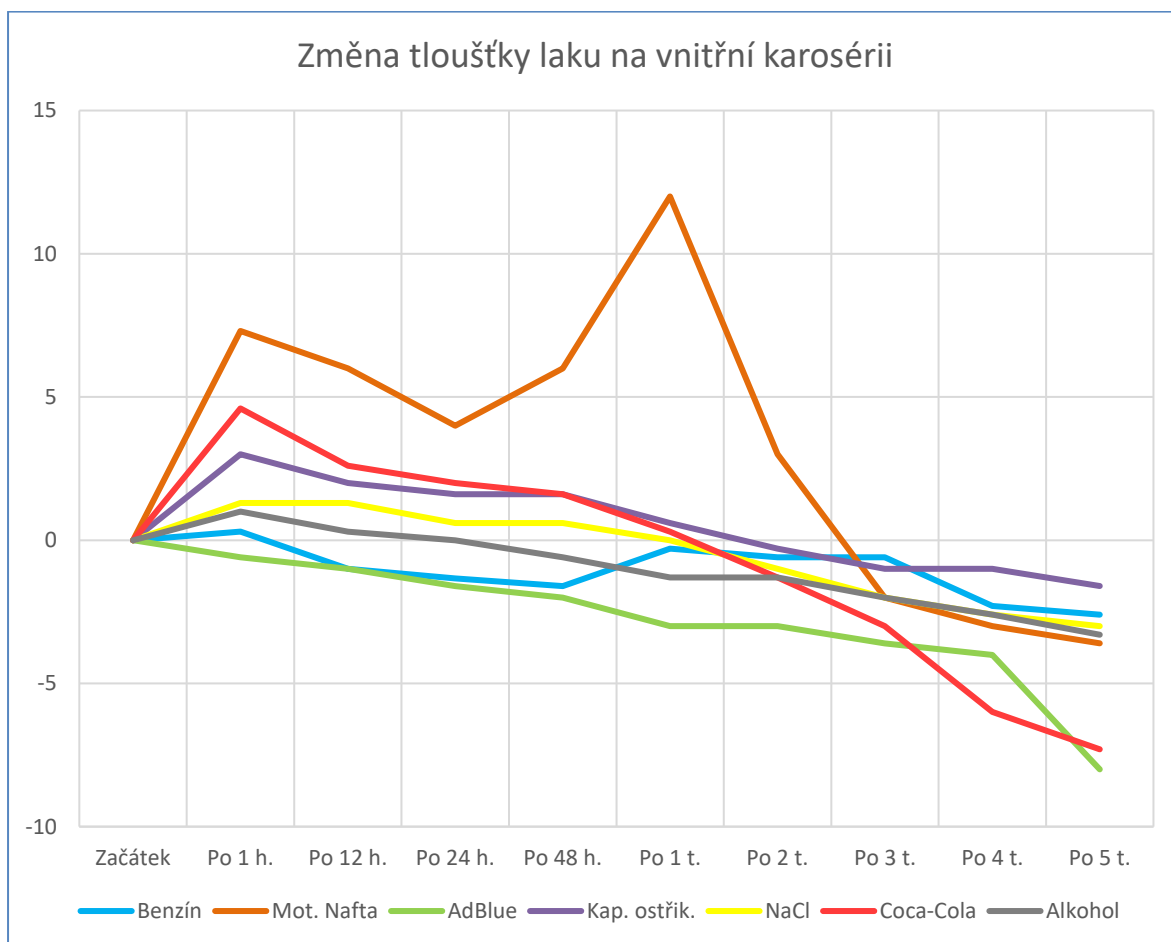
Tab. č. 30 – Změna tloušťky laku u vnější karosérie [vlastní zdroj]

	Po 1 h.	Po 12 h.	Po 24 h.	Po 48 h.	Po 1 t.	Po 2 t.	Po 3 t.	Po 4 t.	Po 5 t.
<b>Benzín</b>	0,3 µm	-1 µm	-1,3 µm	-1,6 µm	-0,3 µm	-0,6 µm	-0,6 µm	-2,3 µm	-2,6 µm
<b>Mot. nafta</b>	7,3 µm	6 µm	4 µm	6 µm	12 µm	3 µm	-2 µm	-3 µm	-3,6 µm
<b>AdBlue</b>	-0,6 µm	-1 µm	-1,6 µm	-2 µm	-3 µm	-3 µm	-3,6 µm	-4 µm	-8 µm
<b>Kap. ostřiko.</b>	3 µm	2 µm	1,6 µm	1,6 µm	0,6 µm	-0,3 µm	-1 µm	-1 µm	-1,6 µm
<b>NaCl</b>	1,3 µm	1,3 µm	0,6 µm	0,6 µm	0 µm	-1 µm	-2 µm	-2,6 µm	-3 µm
<b>Coca-Cola</b>	4,6 µm	2,6 µm	2 µm	1,6 µm	0,3 µm	-1,3 µm	-3 µm	-6 µm	-7,3 µm
<b>Alkohol</b>	1 µm	0,3 µm	0 µm	-0,6 µm	-1,3 µm	-1,3 µm	-2 µm	-2,6 µm	-3,3 µm

V grafu č. 2 umístěném níže jsou interpretovány výsledky degradace laku karosérie lokalizované během experimentu venku se všemi sedmi chemickými vzorky. Oproti karosérii umístěné uvnitř lze výsledky rozdělit do dvou skupin:

1. Méně reagující – u pěti vzorků došlo k menší reakci s lakem karosérie, poněvadž výsledná degradace po pěti týdnech experimentu byla v rozsahu 1,6 až 3,6 µm. Na základě výsledků a v porovnání s výsledky z testu s karosérií umístěné uvnitř nelze tyto vzorky označit za nereagující, ale méně reagující.  
Jedná se o Benzín, Motorovou naftu, Kapalinu do ostřikovačů, Solnou směs a Alkohol.
2. Silně reagující – obdobně jako u „vnitřních“ výsledků, i zde máme silně reagující vzorky. Znovu se jedná o močovinu, která začala s degradací okamžitě po prvním kontaktu a dostala se až na výsledných 8 µm. Oproti předchozím výsledkům překvapila reakce

Coca-Coly, která začala lak degradovat až po dvou týdnech, ale dostala se až na úbytek 7,3  $\mu\text{m}$ .



Graf č. 2 – Změna tloušťky laku na vnitřní karosérii [vlastní zdroj]

## 6.3 DISKUZE K VÝSLEDKŮM

Velmi překvapující výsledky proběhly s močovinou. Nezávisle na umístění testovacího vzorku vždy nejvíce degradovala tloušťku laku karosérie. Jelikož je stále nevyřešená problémovost s doplňováním močoviny do osobních vozidel – jsou dvě možnosti, jak ji doplnit. Buďto zakoupením kanystru, který bohužel nebývá vždy vybaven trychtýřem (když už náhodou ano, tak kapalina často prolíná a teče kolem vstupu do nádrže na karosérii) anebo přes tankovací pistoli. Většina není vybavena přídatným magnetem pro kontinuální tankování, takže je potřeba na čerpací stanici magnet zapůjčit, čímž snížíte rychlost vypnutí pistole a dojde ke zmiňovanému vylití na karosérii. Jelikož močovina reaguje okamžitě, bylo by dobré řidiče upozornit na výhody bezprostředního ošetření laku karosérie po kontaktu s touto látkou.

Poté je skupina Coca-Coly, Benzínu, Soli a Alkoholu, která sice nedegraduje tloušťku laku tak rychle, ale po určitém čase, kdy uživatel vozidla nechá tuto nečistotu na laku, dochází k degradaci až kolem 8  $\mu\text{m}$ .

U zbylých chemikálií lze hovořit o velmi málo reagující skupině, která nevytváří velkou degradaci laku, ale následný problém může nastat i po úbytku v řádech jednotek  $\mu\text{m}$ , poněvadž všechny vzorky poškozovaly horní vrstvu laku (Top coat), která má vrstvu cca 20 až 30  $\mu\text{m}$ , a slouží k ochranně laku před vnějšími chemickými i mechanickými vlivy.

Po ukončení měřicí části experimentu a následném očištění zapůjčených testovacích karosérií byla provedena kontrola změny estetických vlastností laku, která i na místech s největší degradací (AdBlue a Coca-Cola) nebyla pozměněna, viz. obrázek č. 37 níže (testovací plochy byly nalevo od levé vertikální linie popisových štítků a napravo od pravých popisových štítků):



Obr. č. 37 – Horní víko motoru po provedeném experimentu [vlastní zdroj]

### 6.3.1 Porovnání výsledků s předchozím experimentem

Výsledky provedeného experimentu byly blízké výsledkům v diplomové práci Ing. Tomáše Bílka z roku 2017 – docházelo k degradaci laku (úbytku jeho tloušťky) a taktéž je možné zcela souhlasit se závěrem p. Ing. Tomáše Bílka, že výsledná degradace laku karoserie je velmi ovlivněna hlavně dvěma kritérii – čas kontaktu chemické látky s lakem karosérie a použitá chemická látka.

Jeden velmi zajímavý výsledek je, že v mém pokusu vyšla jako nejvíce agresivní chemikálie právě močovina, která byla i u vzorků ptačího trusu důležitým aspektem. V mých výsledcích byla dokonce agresivnější než ptačí trus samotný, poněvadž experiment p. Ing. Bílka trval 22 týdnů a úbytek tloušťky laku byl 29  $\mu\text{m}$ , respektive 6  $\mu\text{m}$  u týdně měněného ptačího trusu a 6  $\mu\text{m}$ , respektive 3  $\mu\text{m}$  u neměněného ptačího trusu. V mém případě byla degradace 11,3  $\mu\text{m}$ , respektive 8  $\mu\text{m}$  u týdně doplňované chemické látky.

### 6.3.2 Možnosti pokračování experimentu

V obecné rovině bych doporučil nehledat další chemické látky, se kterými se uživatel vozidla může setkat a mohly by ohrozit lak karosérie, ale spíše bych spatřoval smysl ve zdokonalení testu právě s agresivními látkami, obzvláště s močovinou a Coca-Colou.

#### ***Častější kontrola aktuální tloušťky***

Ve shodě s výsledky pana Ing. Bílka byl, kontaktní čas velmi významné kritérium, takže by bylo vhodné při následujících experimentech v častějším měření hodnot, protože z výsledků provedeného experimentu nebyl patrný průběh degradace v kratších časových intervalech.

#### ***Následná kontrola po odečtu hodnot pole***

V provedeném experimentu docházelo k měření stanovených polí po přesném harmonogramu doplňování testovacího vzorku chemické sloučeniny a podle předem naplánovaných časových intervalů, nicméně poté již nebylo realizováno přeměření dané plochy, což může být taktéž velmi zajímavá změna, zda po vypaření tekutiny dochází i k následné degradaci – u Coca-coly, solné směsi i močoviny došlo k vytvoření 3D struktury na testovacích plochách, které lze vidět na obr. č. 38 a 39.



Obr. č. 38 – Vytvořené krystaly soli po provedeném experimentu [vlastní zdroj]



Obr. č. 39 – Vytvořené krystaly po provedeném experimentu s močovinou [vlastní zdroj]

**Zaměření na povětrnostní podmínky pokusu (teplota, vlhkost, rychlost větru, UV záření, déšť)**

Prokazatelné rozdíly v provedeném pokusu byly mezi karosérií umístěné vevnitř a venku, což bylo hlavně způsobeno rozdílnou teplotou, vlhkostí a prouděním vzduchu (UV záření nepůsobilo ani na jednu karosérii). Z logiky věci bylo zřejmé, že tyto aspekty velmi ovlivňují chování chemikálií použitých v experimentu, čímž musely prokazatelně působit na výsledné degradace laku.



## 7 ZÁVĚR

Automobil už není jako za starých časů pouze k přepravě lidí a nákladu, ale pochopitelně se s rozvojem životní úrovně ve 20. století stal nedomyslitelným vybavením téměř každého z nás. Díky tomu došlo k posunu vozidla na úroveň jakéhosi designového doplňku, kde kromě jízdních vlastností je velmi rozhodující barva a lak karosérie, která bývá dosti často namáhána mechanicko-chemickými vlivy, čímž lze znatelně měnit hodnotu vozidla pro následný prodej.

V teoretické části jsem se zaměřil na popis celkové povrchové úpravy prováděné během výroby karosérie vozidla. Celý proces byl rozdělen do dvou částí – chemická předúprava a následné lakování dílů karosérie. Některé použité podklady, technologické cykly, postupy a fotografie, jsou přímo z automobilních závodů v České republice, popřípadě od jejich sub-dodavatelů příslušných částí technologie pro úpravu povrchů. Dále byly popsány jednotlivé vrstvy laku a různé druhy laků, které se pro danou vrstvu používají. Ke konci byla představena i jedna z potenciálních ekologických technologií budoucnosti, která již vstoupila i do automobilového sektoru, nicméně na šanci u karosérie stále čeká.

V druhé části byl představen a zrealizován vlastní experiment, který obsahoval sedm vytipovaných chemických sloučenin, které byly po předem stanoveném časovém intervalu (jedna hodina až pět týdnů) v kontaktu s lakovaným dílem karosérie vozidla – jednalo se o dvě přední víka motorového prostoru vozidla Volkswagen Golf 7. generace, které byly nalakovány jako nové náhradní díly na požadovaný odstín včetně čirého krycího laku. První byla umístěna vevnitř v prostředí se stálou teplotou a vlhkostí a druhý byla umístěná venku pod přístřeškem s proměnlivými povětrnostními podmínkami, ale bez přímého slunečního záření a přímého deště.

Z výsledků experimentu vyplynulo, že největší změny byly u pokusů s močovinou (AdBlue), bez které již nemůže být v Evropě prodáno nové dieselové vozidlo. Maximální degradace laku, ve formě úbytku jeho tloušťky, po pěti týdnech byla až 11,33  $\mu\text{m}$ . Taková hodnota odpovídala cca třetině až polovině horní ochranné vrstvy laku. Úbytek laku po kontaktu s Coca-Colou byl taky velmi znatelný, poněvadž za maximální časový úsek ubylo až 8  $\mu\text{m}$ . Ostatní chemické sloučeniny vykazovaly nižší, ale nezanedbatelnou degradaci, protože třeba kontakt se solným roztokem provedl degradaci 6  $\mu\text{m}$ . Je vhodné si uvědomit, že s těmito chemikáliemi jsou řidiči vozidel ve zcela běžném kontaktu a dalo by se říct, že kdyby došlo k rychlému očištění laku po kontaktu s chemikálií, bude jejich degradace minimální.

Na druhou stranu lze výsledky tohoto experimentu použít v soudně-znalecké činnosti, protože z provedeného experimentu vyplynulo, že degradace laku po havárii vozidel, popřípadě po pojistné události týkající se poškození laku politím chemikálií není nikdy tak rychlá, že by prokazatelný úbytek laku proběhl okamžitě po kontaktu, popřípadě v časovém úseku jednoho odpoledne nebo jedné noci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TALAFA, M. *Povrchová úprava karoserie automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
- [2] HOLOUBEK, Vít. Povrchové úpravy Kataforické lakování. Povrchoveupravy.cz [online]. 2005, 1. 4. 2005 [cit. 2014-22-5] Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04clanek01.html>
- [3] Krok za krokem nejmodernější lakovnou škoda auto. Skoda Story Board [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/krok-za-krokem-nejmodernější-lakovnou-skoda-auto/>
- [4] Registrace ojetých vozidel kat. "OA" v ČR \* 5/2021. Svaz dovozců automobilů [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?o#str=oje>
- [5] BÍLEK, T. Vliv doby znečištění karoserie vozidla ptáčím trusem na míru poškození laku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Albert Bradáč, Ph.D..
- [6] Zajímavosti automobilových barev. Skoda Story Board [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely-cs/tajemstvi-automobilovych-barev/>
- [7] SVAČINA, Roman. Vliv způsobu vypalování na kvalitu laku. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 74 s. 1 příloh. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D..
- [8] Tribomatic II. Direct Industry [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://pdf.directindustry.com/pdf/nordson-industrial-coating-systems/tribomatic-ii-powder-coating-system/25293-380437.html>
- [9] The Trials and Tribulations of Hoses and Pumps. ISF Coatings [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://www.ifscatings.com/news/guides/the-trials-and-tribulations-of-hoses-and-pumps/>
- [10] Nordson Industrial Coating Systems [online]. USA: Nordson Corporation, 2021 [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://www.nordson.com/>
- [11] Benzín. Wikipedia [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Benz%C3%ADn>
- [12] Automotive coating process. Praha, 2019.
- [13] Opravujeme lak originální sadou: Funguje to vůbec? Auto.cz [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/opravujeme-lak-originalni-sadou-funguje-to-vubec-98330>
- [14] Motorová nafta. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11].

- [15] Zimní posyp. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zimn%C3%AD\\_posyp](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zimn%C3%AD_posyp)
- [16] Coca-Cola. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Coca-Cola>
- [17] Alkoholy. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Alkoholy>
- [18] Ethanol. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethanol>
- [19] AdBlue. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/AdBlue>
- [20] Volkswagen Golf. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Volkswagen\\_Golf#Sedm%C3%A1\\_generace\\_\(A7,\\_2012%E2%80%932019\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Golf#Sedm%C3%A1_generace_(A7,_2012%E2%80%932019))
- [21] Bezkontaktní tloustkometr Coatmaster Flex [online]. [cit. 2021-6-11]. Dostupné z: [https://www.gamin.cz/fileadmin/user\\_upload/Bezkontaktni\\_tloustkometr\\_Coatmaster\\_Flex\\_03.pdf](https://www.gamin.cz/fileadmin/user_upload/Bezkontaktni_tloustkometr_Coatmaster_Flex_03.pdf)
- [22] KAPASNÝ, M. Využití záměrných poškození vozidel v soudním inženýrství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014. 88s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro benzín, vnitřní [vlastní zdroj] .....	58
Tab. č. 2 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro benzín, vnější [vlastní zdroj].....	58
Tab. č. 3 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro mot. naftu, vnitřní [vlastní zdroj].....	58
Tab. č. 4 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro mot. naftu, vnější [vlastní zdroj] .....	59
Tab. č. 5 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro AdBlue, vnitřní [vlastní zdroj] .....	59
Tab. č. 6 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro AdBlue, vnější [vlastní zdroj].....	59
Tab. č. 7 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro kapalinu do ostřikovačů, vnitřní [vlastní zdroj] .....	59
Tab. č. 8 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro kapalinu do ostřikovačů, vnější [vlastní zdroj] .....	60
Tab. č. 9 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro roztok NaCl, vnitřní [vlastní zdroj].....	60
Tab. č. 10 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro roztok NaCl, vnější [vlastní zdroj].....	60
Tab. č. 11 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro Coca-Colu, vnitřní [vlastní zdroj] .....	60
Tab. č. 12 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro Coca-Colu, vnější [vlastní zdroj] .....	61
Tab. č. 13 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro alkohol, vnitřní [vlastní zdroj] .....	61
Tab. č. 14 – Vstupní hodnoty tloušťky laku pro alkohol, vnější [vlastní zdroj].....	61
Tab. č. 15 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s benzínem, vnitřní [vlastní zdroj] .....	62
Tab. č. 16 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s benzínem, vnější [vlastní zdroj] .....	62
Tab. č. 17 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s mot. naftou, vnitřní [vlastní zdroj] .....	62
Tab. č. 18 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s mot. naftou, vnější [vlastní zdroj] .....	63
Tab. č. 19 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s AdBlue, vnitřní [vlastní zdroj] .....	63
Tab. č. 20 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s AdBlue, vnější [vlastní zdroj] .....	63
Tab. č. 21 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s kap. do ostr., vnitřní [vlastní zdroj] .....	64
Tab. č. 22 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s kap. do ostr., vnější [vlastní zdroj] .....	64
Tab. č. 23 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s NaCl, vnitřní [vlastní zdroj].....	64
Tab. č. 24 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s NaCl, vnější [vlastní zdroj] .....	64
Tab. č. 25 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s Coca-Colou, vnitřní [vlastní zdroj] .....	65
Tab. č. 26 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s Coca-Colou, vnější [vlastní zdroj] .....	65
Tab. č. 27 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s alkoholem, vnitřní [vlastní zdroj] .....	65
Tab. č. 28 – Degradace tloušťky laku v závislosti na kontaktním čase s alkoholem, vnitřní [vlastní zdroj] .....	66

Tab. č. 29 – Změna tloušťky laku u vnitřní karosérie [vlastní zdroj] .....	67
Tab. č. 30 – Změna tloušťky laku u vnější karosérie [vlastní zdroj] .....	69

## SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Změna tloušťky laku na vnitřní karosérii [vlastní zdroj].....	68
Graf č. 2 – Změna tloušťky laku na vnitřní karosérii [vlastní zdroj].....	70

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 – Kompletní schéma lakovacího procesu v automobilním průmyslu [12].....	15
Obr. č. 2 – Schematicky znázorněný proces odmašťování v automobilovém průmyslu [12] .....	16
Obr. č. 3 – Celý proces fosfátování v automobilovém průmyslu [12].....	20
Obr. č. 4 – Roboti nanášejí různé druhy plastizolu za účelem těsnění spár a ochrany karoserie ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3] .....	21
Obr. č. 5 – Standardní vrstvy laku v automobilovém průmyslu [6].....	22
Obr. č. 6 – Linka kataforetického lakování (KTL) [3] .....	23
Obr. č. 7 – Karoserie prochází lázní o teplotě 60 stupňů a ve vanách se otáčí střechou dolů, aby se tekutiny dostaly do každého místa [3].....	23
Obr. č. 8 – Celý proces KTL v automobilním průmyslu [12].....	24
Obr. č. 9 – Kolometrická soustava [3] .....	24
Obr. č. 10 – Vrstvy po aplikaci primeru [12] .....	29
Obr. č. 11 – Celý proces aplikace primeru [12] .....	29
Obr. č. 12 – Proces očištění karoserie před aplikací primeru ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3].....	30
Obr. č. 13 – Proces aplikace barevného a čirého laku. [12] .....	31
Obr. č. 14 – Aplikace červeného base coatu pomocí robotu ABB [12] .....	32
Obr. č. 15 – Aplikace clear coatu ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3] .....	33
Obr. č. 16 – Opravné práce na laku nových vozidel ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav [3] .....	33
Obr. č. 17 – Aplikační technologie Nordson Tribo hrábě [8] .....	34
Obr. č. 18 – Princip nabíjení elektrostatické práškové pistole [7].....	35
Obr. č. 19 - Princip Venturi pumpy [9] .....	36
Obr. č. 20 – Rozdělané HDLV pistolové čerpadlo Nordson Encore <sup>HD</sup> [10] .....	37
Obr. č. 21 – Aplikační pistole Encore <sup>HD</sup> [10].....	38
Obr. č. 22 – Mechanické poškození laku malým kladivem [21].....	40
Obr. č. 23 – Mechanické poškození laku klíčem [21].....	40
Obr. č. 24 – VW Golf [20] .....	43
Obr. č. 25 – Modrý vršek umístěný vedle palivového přísunu pro tankování AdBlue [19] .....	47
Obr. č. 26 – Kapalina do ostřikovačů použitá v experimentu .....	49
Obr. č. 27 – Krystalky NaCl [15].....	49
Obr. č. 28 – Nejznámější logo slazeného nápoje [18] .....	50
Obr. č. 29 – Strukturní vzorec Ethanol [18].....	53
Obr. č. 30 – Prostorový model Ethanol [18] .....	53
Obr. č. 31 – Nachystaná karoserie pro testování [vlastní zdroj].....	53
Obr. č. 32 – Připravená karoserie včetně polí na testování [vlastní zdroj] .....	54
Obr. č. 33 – Princip měření Advanced Thermal Optics [21] .....	55

Obr. č. 34 – Ukázka měření pomocí Coatmaster Flexu [10].....	56
Obr. č. 35 – Zařízení Coatmaster Flex [10].....	56
Obr. č. 36 – Postup při měření degradace laku [vlastní zdroj] .....	57
Obr. č. 37 – Horní víko motoru po provedeném experimentu [vlastní zdroj] .....	71
Obr. č. 38 – Vytvořené krystaly soli po provedeném experimentu [vlastní zdroj] .....	72
Obr. č. 39 – Vytvořené krystaly po provedeném experimentu s močovinou [vlastní zdroj].....	73



## **SEZNAM ZKRATEK**

KTL..... Kataforické lakování

MN..... Motorová nafta

K. ost.... Kapalina do ostřikovačů